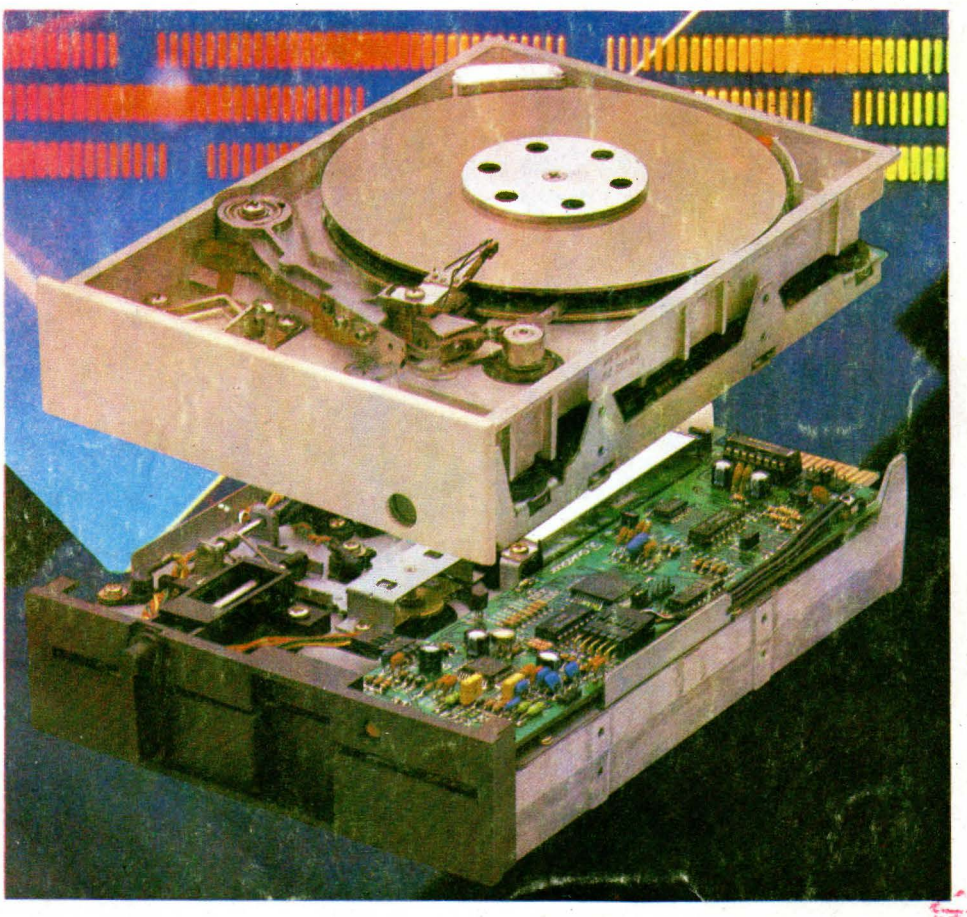
73.8723
2271

微型计算机电路分析与维修丛书 3

5.25英寸磁盘机

钱基广 主编



郑州工学院

電子工業出版社

TP334
Q201

郑州大学 *DQX010039829*

微型计算机电路分析与维修丛书

5.25 英寸磁盘机

钱基广　主编

Retro Workshop
果粉工作室

電子工業出版社

内 容 简 介

5.25 英寸磁盘机是微型计算机最基本的外部设备，掌握其工作原理、结构特点以及日常使用维护和故障的分析处理，是广大用户十分关心的问题。

本书是为普及磁盘机的维护技术而编写的，共分十一章，1～3 章是磁记录和磁盘机的基本知识；4～7 章是软盘机的机械结构、电路原理及故障分析方法；8～12 章介绍了硬盘机的机械结构、电路原理、使用及维修技术，并给出许多典型的故障分析实例。

全书内容充实，介绍了许多维修经验，故实践性较强。可作为广大级微型计算机用户及有关院校培训班的教材及参考书。

5.25英寸磁盘机

钱基广 主编

责任编辑：王惠民

电子工业出版社出版（北京海淀区万寿路）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

山东电子工业印刷厂印刷（淄博市周村）

开本：787×1092毫米 1/16 印张：21.75 字数：515 千字

1989年4月第一版 1989年 4月第一次印刷

印数：1～17,000 册 定价：6.80元

ISBN 7-5053-0494-1/TP·65

郑州大学 *DQX010039829*

出 版 说 明

在世界新技术革命中，计算机已成为一个崭新的、最活跃、最先进的核心技术之一，在信息社会中发挥着她的强大威力。为使我国计算机应用事业尽快地赶上世界先进水平，人才的培养是十分重要的。机电部计算机技术培训中心和中国计算机技术服务公司技术培训网担负着在全国范围内对计算机应用人才进行培养的重任。

为了能迅速、有效地提高计算机技术培训的质量，使技术培训向正规化、系列化、分层次方面发展；为在我国建立一支宏大的应用计算机的队伍，机电部计算机技术培训中心、中国计算机技术服务公司技术培训网和中国计算机学会技术培训学组共同组织培训网系统内培训中心、培训部门及部分高等院校、科研所、计算机生产厂等单位的计算机专家组成了全国计算机技术培训网教材编审委员会。教材编审委员会从国内外计算机技术发展和我国实际情况出发，会同北京地区六个出版社，经过有计划地选题、编写和审定大纲、指定主审和主编、在全网范围内已经编写教材八十余种。自一九八六年以来，编委会在事务处理、工业控制、微机局部网络、微机硬件分析和维修以及中华学习机等方面组织了一批丛书和系列教材，这些教材从一九八七年开始陆续与广大读者见面。

这些教材的主要对象是非计算机专业的广大科技人员和管理人员（在培训过程中将分成初、中、高各级技术人员分层次进行培训），也可以做为高等院校的教学参考书及大专院校学生和从事计算机应用人员的自学教材。

这些教材本着两个指导思想进行编写，即实用性强：让读者学完后能立即用上；跟踪新技术、新成果、新趋势快，让读者及时掌握最先进的技术服务于社会。在培训工作方面遵循三条宗旨，即面向全国、面向应用、面向用户，为读者用好计算机服务。

我们热忱地欢迎有更多各方面的计算机专家参加培训教材的编写工作，热忱欢迎广大读者进行批评和帮助，也热诚欢迎更多的出版社支持我们的工作。

全国计算机技术培训网教材编审委员会

1988年10月

编委会名单：

名誉主任：陈力为

主　　任：邵祖英

副 主 任：吴洪来　黄安南　张振宇

委　　员：（按姓氏笔划为序）

王秉湖　王春元　王路敬　刘国刚　刘洪斌

李大有　李潮义　李宁国　金锡智　张宇铭

何积功　钟圣雷　李　珍　夏　涛　郭小清

秘书：邓小敏

前　言

自1956年第一台IBM-350磁盘机问世三十二年以来，随着计算机技术不断进步和应用的日益普及，磁盘机作为计算机的主要外存储设备，技术发展很快，产品已换了四代，位密度约提高了三百倍，道密度约提高了九十倍，平均找道速度约提高了三十五倍，面密度几乎每隔两年翻一番。特别是为适应个人计算机和办公自动化的迅猛发展，需要扩大外存容量，相继出现了5.25英寸(小型)和2～4英寸(微型)软磁盘机和硬磁盘机(本书称软盘机和硬盘机)，更有力地促进了磁盘机技术和其工业的蓬勃发展。

我国计算机的推广应用工作，自1983年后，由于微型计算机的大量使用，已进入了一个新的阶段。据有关部门的统计，目前全国已拥有各种微型计算机逾廿四万台。确保众多的微型计算机系统正常运行，是十分重要的大事，我国计算机产业部门应全力以赴，搞好售后技术服务工作。

在微型计算机系统中，外设相对主机而言，故障较多。而磁盘机又是外设中最易出故障的设备，且修理、排除故障的难度又较大。因此，了解学习和掌握正确使用与保养磁盘机的技术是确保系统运行正常必需具备的知识。有了对小型磁盘机工作原理的了解和具备必要的测量、调整以及故障排除的技术，才能在磁盘机一旦出现故障，能及时修复。为此，全国计算机技术培训网教材编审委员会组织了本书的编写。

磁盘机可分硬盘机和软盘机两大类。硬盘机又可分盒式硬盘机，可换盘组硬盘机，固定式硬盘机。固定式硬盘机采用“温彻斯特”技术，故又称为温盘机。温彻斯特技术具有较多的优点，发展极为迅速，使温盘机已占当前硬盘机市场的90%以上。尤其在5.25英寸硬盘机的范围内，几乎百分之百采用了温彻斯特技术。不言而喻，本书介绍的硬盘机技术均是指温盘机技术。

考虑到我国目前微型计算机系统中，基本上采用5.25英寸磁盘机作为外存储器，故本书只介绍5.25英寸磁盘机(第三章“磁盘机技术的发展”除外)技术。书中凡“磁盘机”前未缀以几英寸，均具体指5.25英寸硬盘机和5.25英寸软盘机。

参加编写本书的有：中国计算机技术服务公司山东分公司何积功，中国磁记录设备公司钱基广、赵武君、何鹤鸣、厉浙涛、叶定经、李民强、林忱平、屠友灿、胡裳等八位同志。

全书分三篇共十二章和三个附录。第一篇概论共三章。第一章和第二章由厉浙涛编写，其中部分内容由何积功、赵武君、何鹤鸣提供。第三章由钱基广编写。第二篇软盘机共四章，由何积功和何鹤鸣编写，最后由何鹤鸣整理。第三篇硬盘机共五章，除第十一章的WD-1002硬盘控制器由李民强编写外，其余均由赵武君编写。附录一为国外小型、微型磁盘机技术规范表。硬盘机部分由钱基广编写；软盘机部分由胡裳编写。

附录二由赵武君、何鹤鸣整理；附录三由叶定经编写。

本丛书主审王春元同志为本书作了审评工作。

本书强调实用性，并体现在以下几点：

1．突出5.25英寸磁盘机的使用与保养方法以及故障排除和测量调整等实用技术。鉴于目前在国内有关书刊上介绍软盘存储器的工作原理已较多，故适当减少对软盘机的工作原理、组成结构和软盘控制器(有的书上称适配器)工作原理的介绍；加重对其维修保养、使用、测量调整与故障排除方法、典型故障案例分析等内容的介绍。又考虑到国内目前关于介绍微型计算机常用5.25英寸硬盘机工作原理与机械结构的书籍甚少，因此对5.25英寸硬盘机的原理、结构、使用、维修、保养、故障排除、典型故障案例分析等内容，本书作了重点介绍。

2．对于了解软盘机和硬盘机所需的共同知识，例如磁记录原理、磁记录方式、两个驱动电机等不再分散介绍，而把它们集中在第一篇里去讨论。在第二篇和第三篇里，具体选择当前国内已普遍使用的几种实际产品为对象，分章节叙述。

3．为拓宽从事使用、维护磁盘机读者的视野，“磁盘机技术的发展”这一章，能使他们认识到5.25英寸硬盘机，既是继承大温盘机技术和软盘机的产物；又是一个推动大温盘机和软盘机技术发展的重要因素。

4．书后有三个附录：国外小型和微型磁盘机产品介绍；磁盘机中常用的通用-专用集成电路管脚排列图；硬盘控制器的BIOS分析。可作为读者使用、选用与维修磁盘机的参考“手册”。

中国磁记录设备公司的林挺同志和山东计算机技术服务公司赛自元同志分别提供了部份软盘机故障案例的素材，在此表示感谢。

中国磁记录设备公司和中国计算机技术服务公司山东分公司的领导对本书的编写，十分关心和重视，并作了有力的支持。对此，编者们致以谢意。

尽管大部份编者是从事磁盘机技术第一线的科技人员，有一定的科研开发、使用、维修磁盘机的经验，但大多是初次写书，缺乏编写经验，加上时间紧迫，难免有不符读者的需要和错误之处。恳请广大读者不吝赐教，提出宝贵意见，以便进一步修改、补充和完善。

主编　钱基广

一九八八年十月

Retro Workshop
果粉工作室

目　录

第一篇　概述

第一章　磁盘机的基本知识……（1）

第一节　磁记录原理和方式……（1）

一、磁学基础知识……（1）

二、磁记录原理……（3）

三、磁记录方式与数字编码……（9）

第二节　磁盘机的基本结构……（13）

一、磁盘机结构概述……（13）

二、两种驱动电机……（16）

三、磁头的结构和电性能……（23）

第三节　小型磁盘机主要技术参数的含义……（27）

一、记录密度……（28）

二、存储容量……（28）

三、平均找道时间和平均访问时间……（28）

四、数据传输率……（29）

五、检读时间余量……（29）

六、分辨率……（30）

七、误码率……（30）

第二章　磁盘机三大功能系统……（31）

第一节　读写系统……（31）

一、写入电路……（31）

二、读出电路……（33）

第二节　定位系统……（36）

一、概述……（36）

二、三种定位控制方式……（38）

第三节　主轴驱动系统……（44）

一、主轴部件……（44）

二、稳速系统……（44）

第三章　磁盘机技术的发展……（47）

第一节　硬盘机……（47）

第二节　软盘机……（63）

第二篇　软盘机

第四章　软盘机的机械结构……（67）

第一节　软盘机的工作原理……（67）

第二节　软盘片的结构和分类……（69）

第三节　读写磁头的结构和性能……（71）

第四节　磁头定位机构……（71）

一、定位机构……(71)
二、磁头加载机构……(74)
第五节　盘片驱动机构……(75)
一、盘片插入引导机构……(75)
二、主轴驱动轮和盘片夹紧机构……(75)
第五章　软盘机的电路原理……(77)
第一节　写入电路……(77)
一、写入电路……(77)
二、抹电路……(79)
三、选头电路……(80)
第二节　读出电路……(81)
一、读出电路原理……(81)
二、前置放大器与磁头的连接……(81)
三、前置放大器和低通滤波器……(83)
四、微分放大器……(84)
五、鉴零和整形电路……(85)
第三节　磁头定位控制电路……(86)
第四节　主轴电机的伺服电路……(89)
第五节　其它信号的检测和驱动电路……(90)
一、"00"道检测电路……(90)
二、索引信号检测电路……(91)
三、写保护检测电路……(91)
四、准备好号信号检测电路……(92)
五、磁头加载控制与驱动电路……(92)
第六节　接口信号……(93)
一、信号的驱动与接收……(93)
二、接口信号线的连接……(93)
第六章　常用软盘机……(95)
第一节　YD—580型软盘机……(95)
一、YD—580的结构……(95)
二、YD—580的电路原理……(97)
三、YD—580的接口信号……(100)
第二节　FD—55B型软盘机……(104)
一、FD—558B的结构……(104)
二、FD—55B电路原理……(106)
第七章　软盘机的使用及故障分析……(115)
第一节　正确用法及常遇到的问题……(115)
一、使用知识……(115)
二、常遇到的问题……(115)
第二节　软盘机互换性及其测量……(116)
一、影响互换性的因素……(116)
二、定位精度的测量……(118)
三、磁头方位角和索引孔位置的偏差及测量……(121)
第三节　软盘机的检查和调整……(123)
一、检查和调整用的仪器设备……(123)

二、软盘机的主要性能指标……(124)
三、检查与调整方法……(125)
第四节　软盘机故障分析与排除方法……(129)
一、读出电路故障……(129)
二、写电路故障……(130)
三、磁头定位电路故障……(131)
四、互换性不好……(131)
五、软盘控制器故障……(131)
第五节　故障检测流程举例……(131)
第六节　常见故障实例……(137)
第七节　典型故障案例分析……(143)
一、判断故障的步骤……(143)
二、故障案例分析……(144)
第三篇　硬盘机
第八章　硬盘机的机械结构……(146)
第一节　硬盘机组成及其工作原理……(146)
一、硬盘机的组成……(146)
二、硬盘机的工作原理……(147)
三、硬盘机的分类……(148)
第二节　磁头结构与特性……(151)
一、磁头结构……(151)
二、硬盘机磁头的主要参数……(152)
第三节　磁头安装支架及其传动机构……(153)
一、开环式磁头驱动机构……(153)
二、开环式定位的磁头安装支架……(155)
三、闭环式磁头驱动机构……(155)
第四节　盘片驱动机构……(157)
第五节　空气净化机构……(158)
第六节　HDA的结构特点及其他附件……(158)
第九章　硬盘机电路……(160)
第一节　单片机在硬盘机中的使用……(160)
第二节　读写电路……(168)
一、选头及读/写转换电路……(168)
二、写入电路……(171)
三、读出电路……(176)
四、大规模读/写电路芯片简介……(184)
第三节　主轴转速控制电路……(185)
一、索引信号的产生……(186)
二、转速控制电路原理……(188)
第四节　磁头定位控制电路……(194)
一、开环控制定位系统……(194)
二、半闭环定位系统……(202)
三、伺服面定位系统……(205)
四、"00"道信号的产生……(213)

第五节　硬盘机接口……(216)
一、ST506/412硬盘机接口……(216)
二、ESDI接口……(221)
三、SCSI接口……(223)
第十章　常用硬盘机……(226)
第一节　IBM PC/XT中几种硬盘机……(226)
一、ST412硬盘机……(226)
二、Miniscribe 2012型硬机……(226)
三、SA712硬盘机……(227)
四、ST225硬盘机……(228)
五、HH725硬盘机……(232)
第二节　Q540硬盘机……(233)
第十一章　硬盘控制器……(239)
第一节　硬盘存储器子系统的组成……(239)
第二节　硬盘控制器工作原理……(239)
第三节　微型计算机中常用的硬盘控制器……(246)
一、DTC—5150BX硬盘控制器……(246)
二、WD1002—WX2硬盘控制器……(251)
三、XEBEC硬盘控制器……(264)
第十二章　硬盘机的使用与维修……(269)
第一节　硬盘机的使用……(269)
第二节　硬盘机的故障诊断……(268)
一、硬盘控制器与硬盘机的故障隔离……(268)
二、利用IBM PC/XT诊断故障……(273)
第三节　硬盘机的故障排除……(278)
一、维修用设备、仪器和工具……(279)
二、检查硬盘机的一般步骤……(281)
三、硬盘机故障的查找方法……(283)
第四节　典型故障案例分析……(291)
一、前置放大器损坏……(291)
二、写故障实例分析……(292)
三、找道故障实例分析……(293)
四、初始化失败实例……(293)
五、主轴电机启动死角的分析和排除……(293)
六、主轴电机转速不稳……(294)
附录一　图外小型、微型磁盘机技术规范……(294)
附录二　小型磁盘机常用集成电路……(319)
附录三　硬盘控制器WBIOS的分析……(321)

Retro Workshop 果粉工作室

第一篇　概　　述

本篇主要介绍磁记录原理和方式的基本知识，5.25英寸磁盘机的基本结构和基本工作原理；组成小型磁盘机的各主要环节的功能框图及其关键部件，如驱动磁头和盘片的驱动电机的基本结构和性能；磁盘机技术发展历史及趋势，小温盘机的特点。本篇内容叙述避免过多的论证和推导，以适应仅想使用和维修小型磁盘机的读者。

本书在内容的组织上突出“共、比、承”三字。“共”指的是：将软盘机和硬盘机作为磁盘机来讨论，突出讨论两者共同的功能、共同特点、共用部件(例如步进电机)。“比”指对软盘机和硬盘机作一番比较，让读者从对比中，加深对两类磁盘机的了解。“承”是让读者通过对磁盘技术发展历史的了解，认识到5.25英寸温盘机是一个继承大温盘机和软盘机技术并有所改进，有所创新而生命力很强的综合性高技术工业产品。

第一章　磁盘机的基本知识

第一节　磁记录原理和方式

早在几千年前，人们就认识了磁现象，并将它应用到生活中去。到十九世纪，已逐步揭示了磁现象的本质，从而扩大了磁现象的应用范围。二十世纪初，人们开始将磁现象应用于磁记录领域。随着电子计算机的诞生，在录音技术的基础上，人们研究了数字磁记录的技术和理论，研制和生产了计算机外存储器的磁表面存储器，推动了计算机技术的发展和应用的日益普及。

一、磁学基础知识

在日常生活中，可以看到磁性体能够吸引铁、镍等物体的现象。进一步研究，使人们认识到这种磁现象是由运动的电荷产生的。例如通电导线的四周就存在着磁场，如果将铁、镍等物体放在磁场中，这些物质也会带有磁性。

大家知道，为了形象地描述磁场，引入了磁力线的概念。任何磁铁周围都有磁力线的存在，它从“N”极出发到“S”极。这种磁力线是肉眼看不到的。它的存在可以通过在磁铁的间隙中撒满细铁粉来验证，如图 1-1 所示。

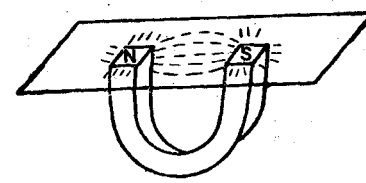


图1-1　永久磁铁的磁力线

永久磁铁，如硬磁钢，不需要外界的影响，而可保持自己的磁力线。而软磁铁，例如用作磁头磁芯的铁氧体，必须有外界电场或磁场的激励，才具有磁力线。如果将磁性材料放在图

1-1 中磁铁的磁力线附近，它便会被磁化。正是利用这个特性，磁盘机使信息从磁头转换到盘片。

为了认识磁记录技术的原理，下面简单介绍一些磁学中常用的物理参数和定律。至于详细的论述请参见其它磁学资料。

1. 磁感应强度、磁场强度和磁滞回线

通电的磁头周围会产生磁场，利用它可使盘片磁化以记录数据。可以用磁感应强度 $\vec{B}$ 定量地描述磁场，其值与磁力线垂直方向的单位面积上的磁力线数目相等。在高斯制中，它的单位为高斯(G)。

不同的磁性材料对磁场的影响也不同，主要是由于磁导率不同。磁导率用符号 μ 表示。采用不同材料制成的磁头，其周围产生的磁场量也不同。为了表达一个与磁介质无关的磁场量，引入了磁场强度 $\vec{H}$，它与 $\vec{B}$ 的关系可表示为：

$$\vec{H}=\frac{\vec{B}}{\mu}$$

在高斯制中，$\vec{H}$ 的单位为奥斯特（Oe）。

若改变磁头线圈的电流方向，在它周围便会产生随电流变化的交变磁场，因而可使磁盘上生成许多极性变化的磁信号。引入磁化强度 $\vec{M}$ 的概念，可以表示磁盘的磁化状态。用磁滞回线可描述交变磁场中 $\vec{H}$ 与 $\vec{M}$ 的关系。铁磁材料在磁化过程中的磁滞回线如图 1-2 所示。对于退过磁或未磁化过的材料，初始点开始于零点。经初始磁化后，M 循着 oa 线由零点逐渐增大到饱和 Ms 值处。当到达 a 点后，如果外磁场 H 减小到零，这时 M 着 ab 线变化并不回到零，仍有一定的数值 Mr，Mr 叫作剩磁。如果继续从反向增加 H 值，这时 M 逐渐减小至零，这时的 Hc 值叫作矫顽力。如果从 c 点继续反向增大 H 值，M 达到反向饱和。外磁场 H 的变化，使 M 循着 abcdef 闭合曲线变化。该曲线就称作磁滞回线。磁盘机采用了饱和磁化技术，磁介质在外磁场的作用下，循着它的磁滞回线形成许多极性变化的小磁元（参看图 1-4）。

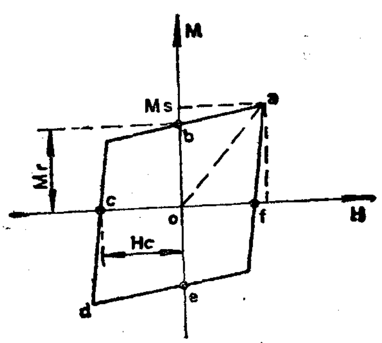


图1-2　磁滞回线

2. 安培环路定律

安培环路定律可定量地表达闭合回路的磁感应强度与环路所包围的电流的关系。在磁记录技术领域中，利用安培环路定律来分析磁头电流与它产生的磁场间的关系。利用该定律，求得某些由规则分布的电流产生的磁场强度。可以证明，在一个闭合路径上，磁场强度 $\vec{H}$ 在线元 $\vec{dl}$ 上的分量沿该闭合路径的积分 $\oint\vec{H}\vec{dl}$ 的值，为该闭合路径所包围的电流的代数和，即

$$\oint\vec{H}\vec{dl}=\sum\vec{I}$$

由此可见，与磁头线圈流过电流 $\vec{I}$ 时，磁头附近便会产生相应的磁场强度 $\vec{H}$，使磁盘磁化。

3．电磁感应定律

当需要从盘片上读取信息时，通过磁头可以将盘片上记录的磁信号转变为我们需要的电信号。电磁感应定律揭示了电场与磁场之间的定量转换关系。根据电磁感应现象，当闭合导电回路所包围的磁通量发生变化时，该导线中就有电流产生。由磁通量变化产生的电动势叫作感应电动势，它可用下式表示：

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi}{dt}$$

由式可知，当磁头从盘片上通过时，磁头线圈中便会感应出电动势ε。

二、磁记录原理

磁盘机采用的数字磁记录是在录音技术基础上发展起来的一种饱和磁记录方式。利用通电磁头产生的磁场，在记录介质上产生标志二进制“0”、“1”数字的饱和磁体。需要取回这些信息时，根据电磁感应原理，这些小磁体可在相对它运动的磁头上感应出与“0”、“1”数字相对应的电动势。盘片介质被磁化的方向，依主磁化场方向不同而不同，目前在磁盘机中主要是采用如图 1-3 所示的纵向磁记录方式，盘片磁化方向与盘片水平面方向平行，故也称水平记录方式。

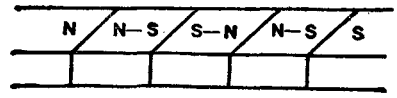


图1-3　纵向磁记录方式

数字磁记录的最主要目标，是寻求在合适的成本前提下，达到尽可能高的记录密度和可靠性。研究磁记录原理，分析写入和读出过程，正是为了实现上述目标，寻求正确、有效的记录方法。总的来讲，读出时影响记录密度的因素较写入时影响记录密度的因素多，故读出密度的限制因素要多于写入密度的限制因素。影响写入密度的主要因素是从一次饱和磁化翻转到另一次饱和磁化翻转之间的过渡区长度。由于写入是由写入磁头边缘磁场的后沿完成的，即后一位的写入磁场将修改前一位的磁化区宽度，因此可形成很小的过渡区。而在读出过程中，在磁头中感应出有效信号的同时，还存在着影响记录密度提高的诸因素：噪音信号，相邻位边缘磁场的相互干扰，读出信号的叠加效应造成读出信号幅度的降低和相位偏移，读电路的热噪音和线性度，记录编码方式及其同步能力，介质噪音等都会影响记录密度。所以读出过程是影响记录密度提高的首要因素。

本书虽然介绍软、硬二种不同类型的磁盘机。但从磁记录原理的角度看，软盘机与硬盘机两者并无本质差别。只不过前者采用柔性盘片，头和盘片是接触式工作的；后者采用硬盘片，头和盘片采用非接触工作。实质上，当磁盘机工作时，头和盘片之间的相对运动，会产生一层非常薄的空气膜。软盘机因头和盘片间是接触式工作，其空气膜较硬盘机薄得多，故可把软盘机看成是空气膜极薄的一种特例。这样，以下的讨论对二者都能适用。

1．磁记录的简单工作过程

目前，大多数磁盘机都是采用饱和磁记录方式将数据记录在盘片上，然后利用峰值检测的方法将磁头中感应出的电动势还原成数字信号。磁盘机的读、写磁头由高导磁率的软磁材料和线圈绕组等构成。将磁头的铁芯做成如图 1-4 所示的环形磁芯，靠近盘片一端开有前间隙 g。当线圈通电后，前间隙处形成较强的磁场，足以饱和磁化前间隙下的

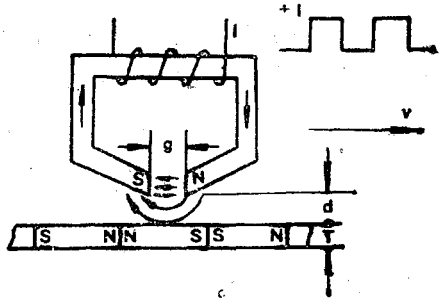


图1-4 磁化原理

磁介质。切断线圈电流，介质上仍存有剩磁形成的位元。如使盘片相对磁头作切向运动，并不断改变线圈的电流方向，便可在介质上记录下一连串的小磁性位元。为了使磁场集中，要求磁头的前隙做得很小，磁头前隙的冠顶与盘片之间的距离 d 尽量小。将 d 称为浮动间隙或磁头飞行高度。

磁介质上经磁化形成的小磁元就象一连串排列整齐的小磁铁，在它们四周建立起磁场。因磁芯的磁导率 μ 值很高，尽管磁头前间隙极小，但空气磁阻远大于磁芯的磁阻，所以当磁头靠近盘片时，磁元的磁场取道磁芯构成闭合回路，而不是通过前间隙构成闭合回路。当磁元以一定的速度通过磁头时，磁通线经过磁芯与线圈交链，并不断变化，在线圈的两端感应出如图 1-5 所示的交变电动势 ε。由图 1-5 可见，在相邻磁元的交界处，磁通变化最大，因此感应电势也最大。

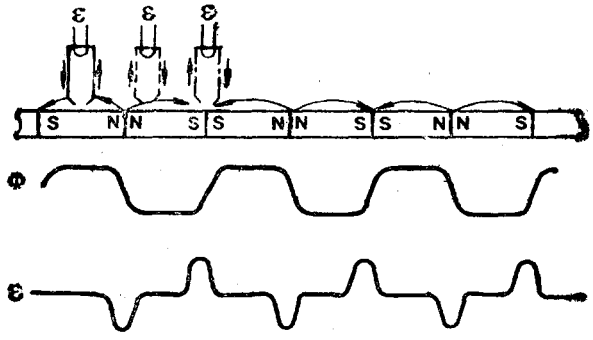


图1-5 磁头电动势感应过程

2. 写入过程的分析

为了搞清楚写入过程对提高记录密度的影响，有必要简单分析一下记录磁场和磁化翻转过渡区问题。

当磁头通电后，在磁头前隙附近形成漏磁场，如图 1-6 所示。磁头漏磁场可近似等效于一些半圆，并可将磁场 H 分解为 Hx、Hy 两个分量。用水平磁场分量 H^x 作为盘片磁介

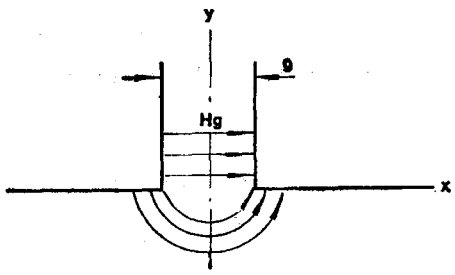


图1-6 磁头前隙处磁场分布

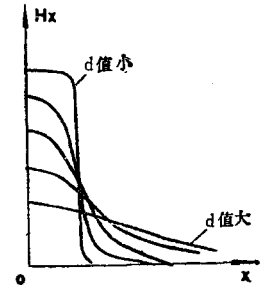


图1-7 Hx分量磁场分布图

质的磁化场(前文已提到称这种记录方式为纵向记录方式)。磁头浮动间隙越小，介质上的磁场强度就越强。H_x的最大值在磁头前隙中心。并向两侧逐渐减小。因垂直磁场分量H_y远比H_x小，故可忽略。当磁头线圈中的电流方向一定时。磁头两侧H_x的方向相同。图1-7是水平磁场分量H_x沿前隙水平位置X方向的分布图。

假设磁介质在记录数据前，已预先向一个方向饱和磁化，当磁头线圈接通正电流+I时，磁层被磁化，见图1-8(a)中阴影部分。改变电流方向，接通-I时，磁层向相反方向被磁化，见图1-8(b)。不断改变线圈的电流方向，磁层被交迭磁化。

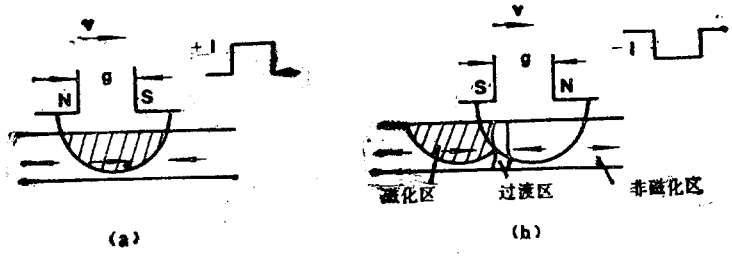


图1-8 盘片磁化过程

(a) +I磁化　　(b) -I磁化

从磁介质的磁化过程可以看到：

(1) 每次写入的磁化场都修改前次记录的磁化区的边界。尽管写入的磁化区可能比较宽，但经下一位写入后，修改了上次写入的后沿，使上次写入的磁化区变窄，写入密度即可提高。因此每次写入的磁化区边界都不在磁头前隙中心，而在后沿，这就是通常所称的“后沿写入”。

(2) 假设磁介质相对磁头没有移动时，磁头线圈中通以电流，此时被磁化的介质可分为三个区域：一是受磁头饱和磁化后形成的磁化区；二是磁头间隙两侧远处为非磁化区；介于这两者之间的区域为过渡区。过渡区的介质处于非饱和磁化状态，即不稳定状态，过渡区是增加噪音和影响写记录密度提高的主要因素，所以越短越好。水平方向磁化强度的梯度$\frac{\partial M}{\partial X}$可分解为$\frac{\partial M}{\partial H}$与$\frac{\partial H}{\partial X}$的乘积。见式

$$\frac{\partial M}{\partial X}=\frac{\partial M}{\partial H}\times\frac{\partial H}{\partial X}$$

可以用图来分别表示M-H和H-X之间的关系，见图1-9。由图1-9(a)、(b)、(c)介质的磁化状态可知：水平方向磁场强度梯度$\partial H/\partial X$越大，过渡区Δx越小；磁化强度梯度$\partial M/\partial H$越大，过渡场越小，由此而产生的过渡区也就越小。

此外，介质被磁化后，会在它的内部产生一种与外加磁场方向相反的自退磁场H_d，它会减小外磁场H_e的作用，因此介质的有效磁场H将被减弱，它可表达为

$$H=H_e-H_d$$

由图1-9(a)的介质磁滞回线的虚线部分可见，如果没有退磁场时，介质在H_c处可饱和磁化；有了退磁场后，需在+H处方可被饱和磁化。退磁场会减小磁滞回线的梯度$\frac{\partial M}{\partial H}$，

增加过渡区的长度，因此退磁场越小越好。

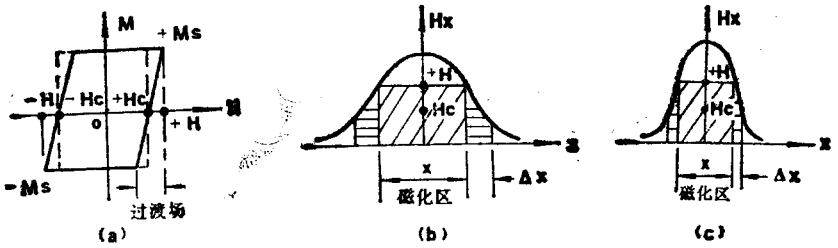


图1-9 盘片的磁化特性

(a) 盘片的磁滞回线 (b) 过渡区Δx大 (c) 过渡区Δx小

既然写入密度与过渡区长度有密切关系，因此可通过具体分析影响过渡区长度和写入密度的主要因素，提出减小过渡区长度和提高写入密度的办法。

(1) 选用的介质材料的矩形比要大，使梯度$\partial M/\partial H$增大，过渡区变短。

(2) 由图1-7可见，磁头浮动间隙越小，则梯度$\partial H/\partial X$增大，可减小过渡区的长度。

(3) 介质厚度越厚，处于介质底层较深处的磁化强度梯度$\partial M/\partial X$越小，将会增大过渡区长度，所以应尽量采用较薄的介质。

(4) 写入电流太小，介质不能充分饱和磁化，写入不可靠；写入电流太大，H_x将向X轴，即磁头前隙两侧扩散，影响写入密度；另外写入电流太大，会使磁层底部达到深度磁饱和，增大退磁场，使过渡区变长。要求写电流的上升沿陡，因为过长的电流上升时间，对于以一定速度V运动的介质来说，将会产生不可靠的写入区，影响写入密度的提高。

3. 读出过程的分析

信号的读出过程比较复杂，它除了受到磁头和介质的影响外，还受到读出电路和记录编码、译码等许多因素的影响。这里主要分析磁头、介质对读出信号的三种主要影响，即对读出信号宽度、幅度以及相移的影响。

根据电磁感应定律，当介质相对磁头以一定速度V移动时，在磁头线圈的两端会感应出电动势ε，即

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi}{dt} = -NV\frac{d\phi}{dl}$$

式中N为线圈匝数，ϕ为磁头线圈中通过的磁通量，它正比于磁道宽度l。由式可见，磁头感应电动势ε与V、N及磁道宽度l有关。虽然硬盘机的盘片转速V较高，一般为3600转/分，但是道密度较高，一般大于360道/英寸，即允许的磁道宽度l较小，而且磁头线圈匝数N受条件限制不可能太多，所以感应电动势ε较低，一般都在1mV以下。而软盘机虽然转速低，一般为300转/分，但是道密度较低，一般小于96道/英寸，使道宽较硬盘大，而且磁头与盘片是接触式工作的，所以感应电动势ε一般都大于3mV。显然，硬盘磁头感应电动势ε较软盘小得多，对于后级电路的要求就高得多。

为了便于分析，首先看一下磁头线圈中单个感应电动势波形。该波形如图1-10所示，它是呈钟形的脉冲信号。设读出电压的最大幅度为ε_{max}，将半峰值$\frac{1}{2}\varepsilon_{max}$处的电压腰宽称作半幅宽，用$P_{50}$表示。$\varepsilon_{max}$值大，半幅宽$P_{50}$小，有利用检读和记录密度的提高。

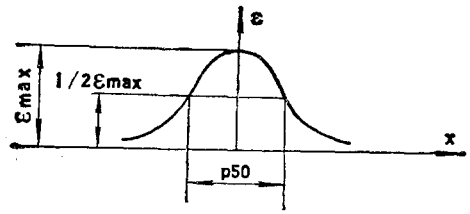


图1-10　磁头感应电动势波形

为了进一步搞清读出过程对记录密度的影响，下面将详细讨论头-盘、单个和多个读出脉冲对读出信号的幅度和相移的影响，它对设计和调整头-盘参数、选用合适的头-盘材料具有一定的意义。

(1) 读出电压的半幅宽P_{50}越小，邻位间的干扰也就越小，有利于提高记录密度。影响P_{50}的主要因素有：

① 薄的介质，它上面的磁化位元中心的磁通变化较平坦，感应电压小，两磁元交界处磁通变化梯度$d\phi/dt$大，感应电压大，所以使P_{50}较小。

② 浮动间隙d越小，P_{50}也小。

③ 当d和过渡场较小时，前隙宽度g对读出电压的影响就突出了，此时如增大g值，将会使P_{50}增大。

(2) 读出电压幅度过低，将使检测产生困难，信噪比被减小，可靠性降低。影响读出幅度的因素有：

① 介质厚度T。T较厚，可使读出幅度增大，但是会增大过渡区，使P_{50}变宽。此外，T厚，感应电压跳变沿较长，引起ε减小，见图1-11。因此，要提高位密度，T不能太厚。在一些硬盘机中，采用磁性能较氧化铁好的金属连续薄膜盘片，求得磁层减薄后仍有一定的读出幅度。

② 磁头浮动间隙d。d增大，则进入磁头的磁通量减少，使得ε减小。故希望d尽量小。

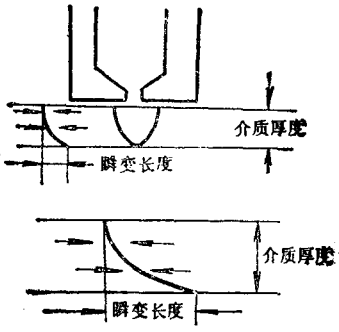


图1-11　介质厚度对瞬变长度的影响

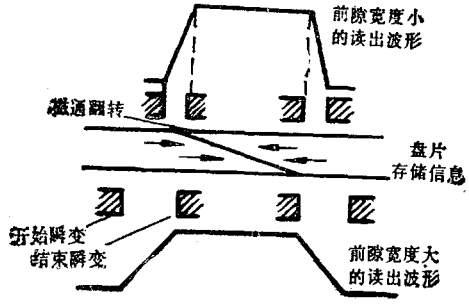


图1-12　磁头前隙宽度对读出波形的影响

③ 前隙宽度g。取记录波长为λ，如果$g>\lambda/2$，会有一部分磁通直接通过前隙、而不经过磁头线圈形成交链，ϕ值减少因此导致ε降低。由图1-12可见，g大的磁头，读出波形前、后沿变宽，电压跳变的过渡时间长，P_{50}增大。

(3) 目前，小型磁盘机的读电路大多采用峰值检测的方法检出数据信号。峰值偏移后，会造成信号检测和数据同步的困难，使读出误码率增大，因此希望读出信号的峰值不要偏离原来的位置。下面就来讨论造成峰值偏移的主要因素：

① 前隙g越宽，峰值偏移越大。前隙宽度与写电流有密切关系。写电流应保证磁头建立足够的磁场强度，使介质饱和以记录信息，而宽的前隙需要大的写电流才能保证介质可靠地饱和。大的写电流和宽的前隙都会使写入脉冲更“拥挤”，造成读出时峰值偏移更甚。因此，为减小峰值偏移，应使磁头的前隙宽度做得尽可能小。另方面，前隙越小，制造越困难、成本越高，所以一般根据位密度的要求来选择磁头的前隙宽度。

② 介质厚度T越厚，读出信号的跳变沿越宽，峰值偏移加大。

③ 前间隙高度越短，则峰值偏移越大。前间隙高度是指磁头极靴的高度，由图1-13可知，前间隙高度长的磁头比短的形成的边缘磁场深度要浅，即A＜B。因此，前间隙高度长的磁头不容易引起磁介质饱和。虽然前间隙短的磁头容易使介质饱和，但是它的边缘磁场深，使介质的瞬变长度更长，造成峰值偏移增大，而且幅度也会减小，这是我们所不希望的。

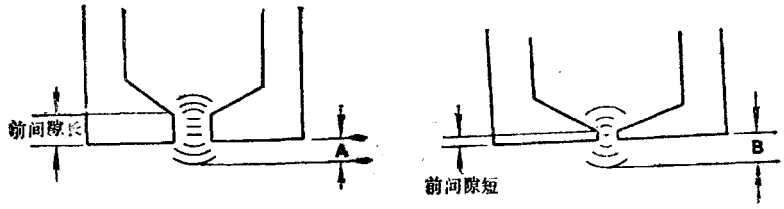


图1-13　前间隙深度对边缘磁场的影响

(4) 脉冲拥挤效应引起的峰值偏移和幅度降低。

前面主要讨论了孤立脉冲的情况，实际上，在磁盘上记录的是一连串的信息，它们相互之间会产生影响，使读出的信号幅度降低，峰值偏移。脉冲拥挤现象，通常称作“脉冲拥挤效应”，它是饱和数字磁记录中，由于连续脉冲相互影响而引起的一种重要现象。记录密度越高，脉冲拥挤效应也越明显，所以它对提高记录密度影响较大。

不同记录编码、不同记录频率以及不同码字之间，脉冲拥挤效应也不相同。从两次相邻磁化翻转读波形图1-14可见：记录频率低(1F)，见图1-14(a)，拥挤效应不明显；记录频率高(2F)，见图1-14(b)，峰偏Δx大，幅度降低。而且频率越高，记录密度越

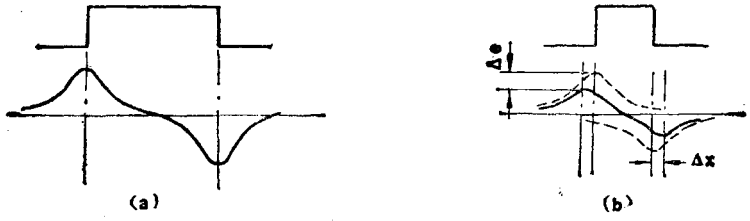


图1-14　相邻磁化翻转读出波形间的影响

(a) 记1F频率的信号　　(b) 记2F频率的信号

大，则影响也越严重。从三次连续翻转的波形图 1-15 可见：两边的波形出现峰偏ΔX，中间的电压幅度降低，但中间的电压峰值不会发生偏移。所以在一些读、写电路中，根据不同的记录码组，采用相应的预补偿，以减小脉冲拥挤效应带来的问题。此外，脉冲拥挤效应将会降低信噪比。因此，记录密度不应超过脉冲拥挤效应的容许范围。

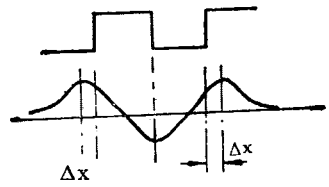


图1-15 三次连续磁化翻转读出波形间的影响

除了连续脉冲相互间会产生影响，造成脉冲拥护效应而形成峰偏，还有其它一些因素也会使读出信号产生峰偏。此外，峰偏的方向也有正、负之分。朝向拥挤脉冲的两旁的峰偏方向为正偏移；反之称为负偏移。以下将列举产生正、负峰偏的一些原因。

峰值偏移的方向	峰值偏移的原因
正　　偏	① 读写前隙太宽 ② 前间隙高度较小 ③ 介质较厚
负　　偏	① 磁芯的剩磁 ② 线圈不对称 ③ 不正常的写电流

三、磁记录方式与数字编码

数字磁记录方式就是指采用某种规律将计算机的二进制数字序列转换成磁层相应的磁化翻转的方法和形式。可以采用数字编码来实现不同的记录方式，其目的就是为了提高记录密度、降低误码率。写入时，如果要记录信息“1”，利用饱和磁化技术让磁层翻转以记录信息，如记录信息“0”，可以让磁层不翻转，读出时，在磁化翻转处，磁头上感应的电动势幅度最大，利用峰值检测的方法，可以还原信息“1”。这就是通常使用的见“1”就翻的“不归零制”磁化翻转记录方式。但是由于各种干扰因素的影响，读回的信息“1”可能会偏离正确的位置，这就需要在送存的计算机的数字序列中插入同步时钟信号，以便同步检测电路利用同步信号，检测出已发生偏移的数字信息。由此可见，为确保读回的数字能被正确分离出来，在被记录的信息序列中，除计算机的数字序列外，还可能插有同步时钟序列。插入时钟的个数和方法可以不同，也可以不插入时钟，只将数据序列的位置重新作一编排。将数字序列插入时钟，或作一新的位置编排，变换成记录序列，称作数字编码。

记录序列中，相邻“1”之间“0”的个数可能不同。换句话讲，不同的编码方式，在数字序列中插入时钟的个数可以不同。从提高记录密度来看，希望“1”之间“0”的个数多，对应同一数字序列磁化翻转的次数少。但连续“0”的个数太多，插入时钟过少，往往容易造成后级同步电路的同步困难，以致不能正确检出数字信息。另方面，经过编码的数据，如果插入“1”的个数太多，不但会造成磁化翻转过频，而且“1”太密

集，根据脉冲拥挤效应，会使读出信号的幅度降低、峰值偏移。所以，需要根据具体条件和记录密度，选择合适的记录方式。

提高记录密度，降低误码率，是数字记录中同等重要的二个问题。虽然改进记录方式可以减少误码率，但是由于读写通道噪音干扰等多种因素的影响，在高密度的数据存取过程中，很难避免读写的错误。为了减少数据传输过程中发生的错误，可以利用另一种编码方式，即检、纠错编码方式，对数字序列进行检、纠错编码。在数据被读回时，再利用解码电路检测或纠正错误。在小型磁盘机中，一般将检、纠错电路，放置在磁盘控制器中，所以本节只讨论记录编码，而不讨论检、纠错编码。

可以用一些指标来评价各种记录方式，表征记录方式性能的指标主要有：

(1) 编码效率(η)

不同记录方式，数据记录位所对应的磁化翻转次数不一定相同。记录数据的位密度与最大磁化翻转的比值称作编码效率，可以表示为

$$\eta = \frac{\text{位密度}}{\text{最大磁化翻转密度}}$$

编码效率越高，说明记录的潜力利用发挥得越充分。例如每对应一位记录数字“1”，可让磁层翻转一次，也可以让磁层翻转二次，二次中有一次代表时钟。显然，对于同一记录空间来讲，前一种记录方式可放置更多的数字，因此，可以说实现这一记录方式的编码其效率也就高。

(2) 读出分辨力

由于脉冲拥挤等各种原因，读出信号的峰点会发生偏移。而不同记录方式，允许峰点偏移的范围可能不同，可采用检读窗宽(T_w)来评价检读分辨力。

(3) 磁化翻转间隔比(R_w)

不同记录方式，它所对应的最大磁化翻转间隔和最小磁化翻转间隔的比值不一定相同，用 R_w 表示这两种翻转间隔的比值。R_w 越小，说明信道带宽越窄，抗干扰能力越强。

下面将分别介绍几种常用的编码方式。不同的编码，具有不同特性，可以有各种参数来表征。尽管编码方式很多，但是任何一种数字编码都可以把它看作是一种游程长度受限码(RLL)，这样就便于找到各种编码的共性，利用统一的方法来研究它们的特征。RLL 码是对记录序列中两个“1”之间的“0”个数有限制的编码，可用两个主要参数(d、k)来表征它的特点：

(1) d表示信息序列中相邻“1”中最少可插入的“0”的个数。

(2) k表示信息序列中相邻“1”中最大可插入的“0”的个数。

数字编码是一门专门的技术学科，本书不可能对它们作过多的介绍，以下仅仅介绍在磁盘机中常用的几种编码的一般特性。

1. 见“1”就翻的不归零制编码

有两种不归零制编码。一种是见信息“1”时，磁层正向翻转，见“0”时，磁层反向翻转。另一种是见信息“1”时磁层便翻转，见“0”时，磁层不翻转，保持原来的状态。后一种称作见“1”就翻的不归零制编码，其编码效率为100%，R_w 为无限大。

2. FM 制编码

FM 是早期磁盘机最常用的编码方式。FM 也称调频制编码方式。在 FM 编码中，规定在位单元中心写入一个脉冲定义为逻辑“1”；在位单元的中心无电流脉冲定义为逻辑“0”。在每个位单元的前沿有一个时钟脉冲，如图 1-16 所示。

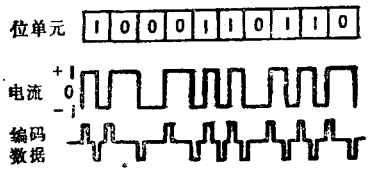


图1-16 FM 制编码方式

FM 制的优点：

(1) 读出数据时有固有的自同步时钟脉冲。

(2) 由于磁化翻转间隔的最大值与最小值之比 R_w 较小，所以整个写入和读出系统不需较宽的频带。

(3) 因为表面的磁化状态总是由写头的电流来达到饱和。所以写入前不需要预先抹去以前写入的信息。

(4) 所有的数据转换成磁化状态(脉冲信号)是均匀分布的，因此峰值偏移较小。

FM 制的缺点：

(1) 与其它编码相比，磁通翻转频率较高，这就限制了在给定系统中的存储密度。

(2) 需要较复杂的读写电路。

(3) 在进行高位密度的读出时，信号幅度有较大的变化。

3. MFM制编码(改进调频制)

MFM制是目前磁盘机最常用的记录方式。因为这种方式减少了每个单元磁通翻转次数，所以用同样的磁介质可使其数据容量增加一倍。MFM 制规定在位单元中心写入一个脉冲为逻辑“1”；在位单元中心不写入脉冲为逻辑“0”。只有在一个位单元中记“0”，并且上一个位单元也记“0”时，在这两个记“0”位单元的中间写入时钟脉冲。这样，每个位单元磁化状态最多改变一次。波形图参阅图 1-17。

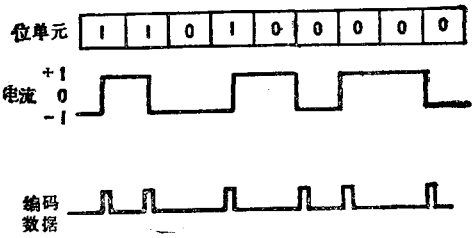


图1-17 MFM 编码方式

MFM 制的优点：

(1) 它代表的一个二进制数所需的磁化翻转次数少，所以它的记录密度大于 FM 制的记录密度。

(2) 对于给定的二进制数所需的磁化翻转次数少，所以记录频率较低，其信噪比、幅值分辨力和读出电路的效果及磁头的使用情况都得到了改善。

(3) 由于有半自同步能力，因此读出的信息脉冲中不必有单独的时钟信号通道。

MFM制的缺点：

(1) 因为不是每个位单元都有一个时钟脉冲，故需要较复杂的读写电路。

(2) 由于编码的不匀称，峰值偏移将增加。与 FM 制相比，它要求信道宽增加，因此需在控制器或磁盘机中增加预补偿线路，以补偿已知的峰值偏移。

4. M²FM制编码

M²FM制编码方式规定在位单元中心写一个脉冲为逻辑“1”，在位单元中心无脉冲为逻辑“0”，在位单元前一位既无数据又无时钟，并且本位数据也不是“1”时，在其

前面写一个时钟脉冲。

M²FM制的优点：

(1) 表示一个给定的二进制数所需的磁通翻转次数比 FM 制少，提高了记录密度。

(2) 因为在磁介质上时钟脉冲比 MFM 时钟脉冲间隔时间长，时钟脉冲的峰值偏移效应比 MFM 制小。

(3) 对给定的二进制数比 FM 制减小了磁通翻转次数，记录频率相应也降低了。其信噪比、幅值分辨力和读出电路效果及磁头的使用情况都得到了改进。

M²FM制的缺点：

(1) 因为不是每个位单元前沿都有时钟脉冲，它需要较复杂的读写电路。

(2) 由于编码的不匀称性，峰值偏移将增加。与 FM 制相比，通道带宽也增加了。在控制器或磁盘机电路中需增加予补偿电路以补偿已知的峰值偏移。

5. GCR 制编码

这种方式将 4 位信息变换为 5 位进行记录，变换的原则是禁止用连续 3 位以上为“0”的代码组合。5 位可组成 32 种状态，除去了 3 位以上为‘0’的组合，尚有 17种，用其 16 种使之与 4 位数据信息构成十六种状态一一对应。

GCR 制优点：

(1) 它的记录密度比FM制高，为FM制的1.6倍。

(2) 有一定的自同步能力。

GCR制缺点：

GCR制需要更多的线路来编码和译码及提供必须的查照表。它的线路要比MFM制和M²FM制复杂。

6. 2.7RLL制编码

2.7RLL 码规定。在记录序列中，两个“1”之间至少有 2 个“0”，最多有 7 个“0”。2.7RLL 码的编码规则如表 1-1 所示。例如一个十六进制数 7B，它的二进制码为 01111011。按表 1-1 规则，对应的 2.7RLL码为 0000100001001000。

表1-1 2.7RLL码编码规则

二进制码	2.7RLL码
11	1000
10	0100
000	100100
001	001000
010	000100
0110	00100100
0111	00001000

RLL 制的优点：

(1) RLL 编码限制了两次翻转之间最小和最大距离，因而提高了每英寸允许的翻转次数。以2.7RLL码为例，在同样的磁通翻转密度情况下，比 MFM 制容量可提高 50%。

(2) RLL 码提高了数据传输率，它是 MFM 制的 1.5 倍。

RLL 制的缺点：

(1) RLL 码与 MFM 码相比，窗口余量减少了。它要求读写通道的频带也比 MFM 码宽。

(2) 编码和译码线路比 MFM 码复杂。

第二节　磁盘机的基本结构

计算机系统所使用的各种类型的存储器中，由于磁表面存储器具有如下特点：

① 记录的信息是非易失性的，不会因为断电等原因使信息自行消失。

② 记录信息的介质可更换和保存。

③ 性能价格比好。

所以它们普遍被计算机作为外存储器使用。磁表面存储器记录信息的共同特点是利用磁化技术，将数据存储在磁性材料的磁表层上。这类存储器主要有：磁带机、磁鼓和本书要讨论的磁盘机等。5.25英寸磁盘机分为软盘机和硬盘机两大类。

磁盘机是利用表面敷有磁性材料的盘片作为记录介质，写入电路将编码过的“0”、“1”脉冲信号转变为磁化电流波形，通过磁头使盘片上生成对应的磁元，信息便被记录在盘片上了。读出时，旋转的盘片上的磁元通过磁头下方，在磁头上感应出电压波形，经过读电路放大、整形又被还原成“0”和“1”信号。信息是沿盘片圆周方向一圈圈地被记录在盘片上的。写盘时，在盘片上便生成了许多记录信息的同心圆，即磁道，如图1-18所示。在磁道上一般都记有地址标志，以便查找。一个稍大点的文件，往往占据许多磁道。标磁盘地址，判别地址，分配文件的存储空间，一般都由计算机去完成。为了让磁头沿盘片径向方向作寻找磁道的运动，在磁盘机上是采用一套定位驱动机构，由电机驱动，带动磁头移动的，利用电机带动盘片作旋转运动。因此，依靠磁头可以对整个磁盘面作扫描，以便实现存取信息的工作。

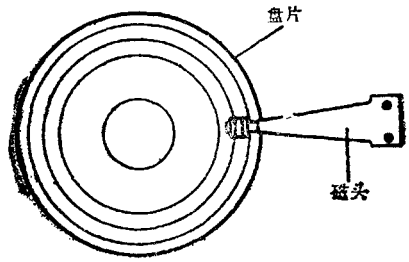


图1-18　盘片被分成许多同心圆—磁道

一台完整的磁盘机，是由磁头、盘片、控制电路及驱动部件等构成的。在记录原理一节中，主要是对磁头、盘片的记录特性作了描述，并没有涉及到完整的磁盘机的工作原理。本节将介绍磁盘机的基本构成及其简单工作原理，主要介绍软、硬盘机共性的东西。为了加深了解，对这两种磁盘机各自的特点作必要的比较。此外，作为磁盘机的重要部件——磁头、电机等也在本节中给予介绍。

一、磁盘机结构概述

七十年代以来，磁盘机开始向小型化、高密度、大容量以及快速存取方向飞速发展。目前，在微型计算机中使用最多的是5.25英寸(指盘片尺寸)磁盘机。

按照盘片制造的材料不同，可分为软盘机和硬盘机。软盘机所使用的盘片，是在聚脂薄膜软片上涂上磁性层制成的，盘片具有柔软性，所以称作软盘机。软盘机的结构比较简单，盘片可以更换和保存。由于磁头、盘片是接触式工作的，提高了读写信号的分辨率，降低了磁盘机对环境的要求。但是，软盘机的存储容量比较小，数据存取速度也比较慢。硬盘机所使用的盘片是在铝合金基片上涂敷一层磁性材料制成的。目前微型计算机所使用的硬盘机，大多采用了“温彻斯特”头盘密封技术，所以又将它称作温盘机。温

盘机是在软盘机和大型磁盘机基础上发展起来的一种新型硬盘机，它既有软盘机结构简单的特点，又吸收了大型磁盘机记录密度高、容量大和存取速度快的许多优点，其磁头和盘片作为一个整体被密封在盘腔内，称为HDA部件，因而盘片一般是不可更换的。硬盘机在加电启动时，磁头和盘片保持接触，即接触式启/停(CSS)方式；工作时，磁头才浮离盘片表面。硬盘机和软盘机各有自己的特点，在微型计算机中，常常将它们配套使用。

软盘机和硬盘机的生产技术发展迅速，关于它们的技术发展，在第三章有详细介绍。为了便于对这两种磁盘机作一比较，在表1-2中列出了有代表性的软盘机和硬盘机的性能、特点。

表1-2　软盘机和硬盘机主要性能与特点

特　性	软　盘　机		硬　盘　机	
	第一类	第二类	第一类	第二类
盘片及其数量	单片软盘	单片软盘	用胶盘小于4片	镀盘、多达8片
磁　头			3350水平	3380水平
定位控制方式	开　环	开　环	开环或闭环	闭　环
平均存取时间	90ms～158ms	90ms～158ms	60ms～180ms	<55ms
存储容量	0.125～0.5MB	1～1.6MB	10～40MB	高达380MB
道密度	48TPI	96TPI	300～600TPI	1000TPI
盘片转速	300rpm	300～360rpm	3600rpm	3600rpm
互换性	有要求	有要求	无要求	无要求
头盘结构	结构简单、敞开	结构简单、敞开	头盘密封	头盘密封

下面将按磁盘机各部件的功能和物理构成，分别给以介绍，以便对磁盘机有一初步的了解。

1．磁盘机的功能结构

磁盘机按其内部各部件的逻辑功能关系，可以将它们分为四大部分，见图1-19。它们相互配合，构成一个整体。这里仅对它们的功能作一简单介绍，在第二章中，将专门介绍其中主要的三大功能系统。

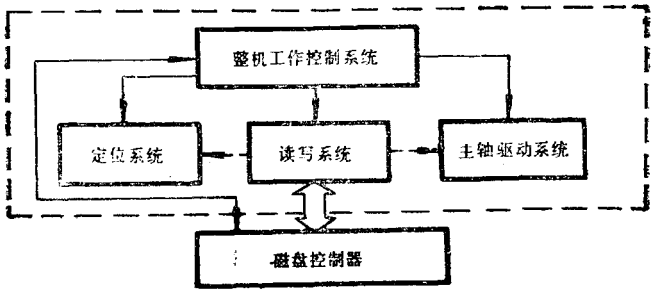


图1-19　磁盘机的逻辑功能框图

(1) 读写系统　读写系统在磁盘中占据着重要地位，它是磁盘数据吞吐的必经通路。在有些小磁盘机中，还依靠它来读取定位及稳速控制的基准信号。所以读写系统的性能是评价整机性能的重要依据。

(2) 定位系统　定位系统用来实现磁头对磁道的寻找和定位工作。评价其性能的主要指标是定位精度和找道速度。定位系统是由电路和机械部件混合组成的控制系统，在制造和调整上都有较大的难度。

(3) 主轴驱动系统　主轴驱动系统用以保证盘片按一定的速度稳定地旋转。盘片旋转稳定性较差会导致读、写出错，严重时会造成磁头、盘片的损坏。目前，小磁盘机大多采用了锁相控制技术以保证盘片稳速精度。

(4) 整机工作控制系统　为了保证磁盘机各部件协调、正常地工作，在磁盘机中设有控制系统。软盘机一般采用组合逻辑实现控制功能；硬盘机大多采用单片机实现整机的控制功能。利用单片机实现磁盘机整机控制，不但控制功能得到增强，而且电路元件可以大大减少。

2. 磁盘机的物理结构

磁盘机是机、电混合和技术密集型产品，其物理结构如1-2所示。

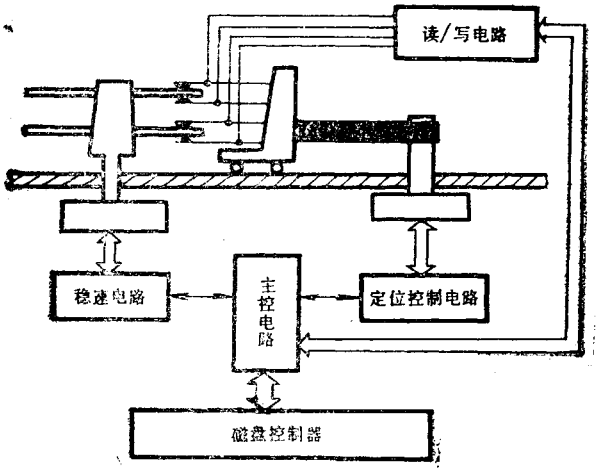
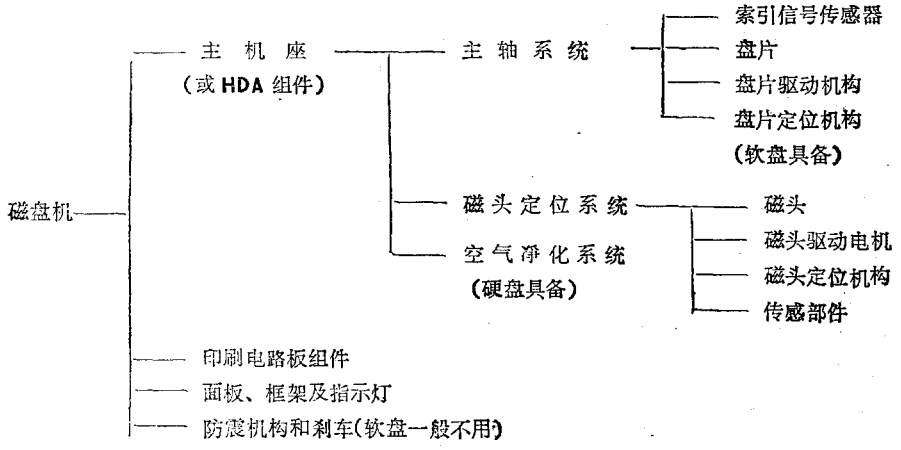


图1-20　磁盘机的基本结构

一台小磁盘机的主要构件包括以下各部分。



软盘机和硬盘机作为外存储器，虽然两者采用的具体技术有所不同，但是它们的功能和实现方法还是基本相同的。从以上列出的磁盘机的基本组成部件也可看到两者的共同点：都具有存储信息的盘片介质；完成读写数据的放大及处理电路；为在指定位置执行存取操作的驱动机构及控制电路等。

(1) 盘片　一般所指的5.25英寸盘片，其直径为130mm，除去内、外圈不能记录信息的部分，实际可供使用的记录区域仅为30mm左右的一块圆环。软盘片可以更换、保存和交换使用。如果使用环境发生变化，在一台软盘机上记录了信息的盘片拿到另一台软盘机上读，可能读不出来，它存在着互换性问题，软盘片被封装在保护套内，盘片和保护套上开有索引圆孔。硬盘机盘片与磁头等有关部件一起封装在金属密封腔体内，称为头-盘组件(HDA)。HDA能整体更换的，称为可换式硬盘机；不能更换的，称为固定式硬盘机。不论是可换式，还是固定式，一般对用户来说，其盘片均不能互换使用。

(2) 盘片驱动机构　包括盘片驱动电机、主轴部件及电机稳速控制电路等。对软盘机来说，还应包括盘片插入软盘机时，将盘片定位于主轴中心的定位机构，主要由盘片导向、压紧和弹射等机构组成。利用这套装置和驱动电机带动盘片平稳、匀速地旋转，以保证磁头在盘片上正确无误地读写数据。

(3) 磁头定位系统组件　小型磁盘机一般采用步进电机或音圈电机作定位驱动电机。按照定位系统的控制方式不同，可分为开环、闭环和半闭环三种定位控制方式，闭环系统用在记录密度高、存取速度快的磁盘机中。不同的控制系统，其组件的数量和复杂程度也不相同。例如闭环控制系统除有电机、执行机构、控制电路外，还设有位置传感部件和速度传感部件，供检测磁头位置和运动速度，实现定位伺服控制。

(4) 磁头与读写电路　软盘机一般装有一至二只磁头；硬盘机的磁头数目多数在二只以上。读写电路由选头电路(若有二只以上磁头)，读、写放大、整形等电路组成。硬盘机读出电压信号比较弱，为提高电路信噪比，有的硬盘机将前置放大器尽量装在磁头附近，例如装在密封腔体内，连接磁头的挠性电线上。

(5) 空气净化系统及其它辅助电路和结构　硬盘机上采用了头、盘密封组件，密封体通常采用金属压铸件，在密封体内装有空气过滤器。采用这些密封、净化技术后，显然比非密封式硬盘机，对环境净化要求就低多了，因此适合办公室、家庭等环境条件下使用。软盘机磁头、盘片是接触式工作的，盘片基片材料比较柔软，盘片保护套能清洗盘片上少量浮尘，软盘机本身不另设专门的净化系统。软盘机和硬盘机都装有索引传感器、“00”道检测等一些辅助装置和电路，以保证磁盘机正常、可靠地工作。

二、两种驱动电机

1. 盘片驱动电机(主轴电机)

(1) 对主轴电机的要求　主轴电机是带动主轴旋转的驱动部件，要求其：

① 体积小，功耗低——受小型磁盘机的结构和体积的限制，要求选用的主轴电机体积小，能驱动盘片正常旋转，而功耗又不宜大。电机功耗太大，不但增加了磁盘机的功耗，并且电机产生的热量将影响整机的可靠工作。软盘机和硬盘机对主轴电机这方面的要求也有所差别。

软盘机的主轴电机暴露在空间，散热条件较好。盘片数量少，至目前为止，商品化

的5.25英寸软盘机都只有一片盘片，风阻损耗小，因此电机负载轻。

硬盘机的主轴电机被密封在 **HDA** 组件内，电机的发热将导致密封腔体的温度升高。此外，硬盘机的盘片数量较多，风阻损耗大，负载较重。

② 转速均匀，偏摆小——如果主轴电机转速不稳，将使读写数据的相位产生偏移，导致误码率增高。电机转动时偏摆太大，过大的轴向跳动和径向跳动传递到盘片后，会使磁头定位不可靠，导致读写出错。旋转时噪音过大，将不宜在办公室或机房内使用。

早期的软盘机主轴电机采用交流同步电机或有刷直流电机，通过皮带轮带动主轴旋转。现在大多改用无刷直流电机，消除了因皮带张紧力变化而引起主轴转速的误差，还避免了有刷直流电机因碳刷磨损产生的粉尘和磨擦引起的电火花干扰。硬盘机均已采用高速无刷直流电机直接带动盘片旋转。电机均经精密动平衡校正，并采用精密轴承，使电机旋转平稳，噪音小。

③ 启动时间要短——一般情况下，软盘机在被选中时，才启动主轴电机旋转盘片。为了保证对软盘机的快速调用，要求主轴电机启动时间短。虽然硬盘机加电后电机一直旋转，但由于磁头和盘片是按接触启停方式工作的，电机的启动时间也有严格规定。

④ 外界干扰对电机应不易引起转速的变化，尤其是对硬盘机来说，因主轴电机的转速较软盘机的主轴电机的转速高(基本上高出一个数量级)，电机采用外转子结构后，增大了电机的惯量，提高了转速稳定性。

(2) 无刷直流电机的结构与原理　无刷直流电机由三个基本部份组成：电机本体，转子位置传感器和电子换向开关电路。图1-21(a)和图1-21(b)是无刷直流电机的方框图和结构示意图。电机本体包括主定子和主转子两部份。主定子相当于普通直流电机的电枢，主转子相当于磁极。电枢绕组放在定子铁芯的槽内并制成多相形式。为了使电子换向开关电路依次对电枢绕组通电并保持电枢电流与磁场极性的相对关系不变，必须要有敏感转子位置的传感器。传感器的转子与主转子同轴，传感器的定子通常安装在电机的定子上。

无刷直流电机中的转子位置传感器有如下几种类型：

① 光电式角位置传感器；

② 霍尔磁敏式位置传感器；

③ 接近开关式位置传感器；

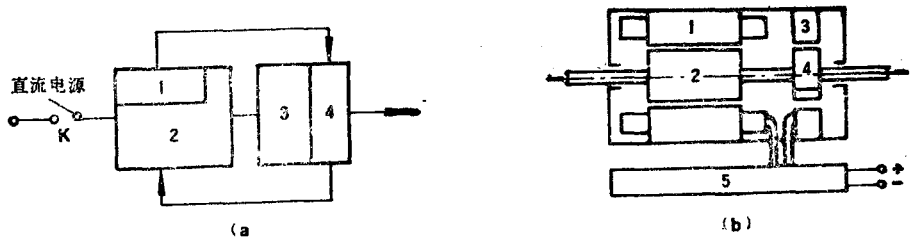


图1-21　无刷直流电机方框图和结构示意图

(a) 1.传感器电源　2.电子换向开关电路　3.电动机　4.位置传感器

(b) 1.主定子　2.主转子　3.传感器定子　4.传感器转子　5.电子换向开关电路

④ 消振式位置传感器；

⑤ 高频耦合式位置传感器。

下面简述在小型磁盘机(尤其在硬盘机)中用得较多的以霍尔磁敏元件为位置传感器的无刷直流电机的工作原理。

霍尔元件是一种砷化镓或锑化铟类半导体，做成很薄的薄片。其基本工作原理是：当薄片状的半导体置于磁场之中，使磁力线垂直于薄片表面，两侧通以控制电流 IC 时，则在另外两侧会产生一定的感应电势 VH，如图 1-22(a)所示。

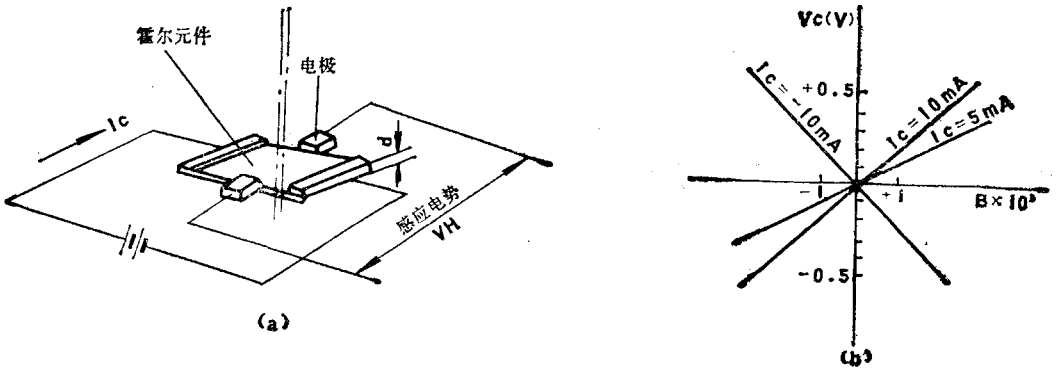


图1-22 霍尔元件的原理和特性

(a) 霍尔元件的原理图　　(b) 霍尔元件的特性

这种现象称为霍尔效应。霍尔元件的输出电压为：

$$E = R_H \frac{I_H B}{l_e} \times 10^{-8}$$

式中 R_H 为霍尔元件的霍尔系数

图 1-22(b)表示以霍尔元件在磁场中、控制电流 Ic 与其输出信号的关系，表征霍尔元件的特性。霍尔元件的输出信号较低。为提高信噪比，常与放大器及输出驱动部份的电路做在一块基片上。其原理电路及输出特性如图 1-23 所示。霍尔元件及其附属电路安装在电机内部的一块印制电路板上。

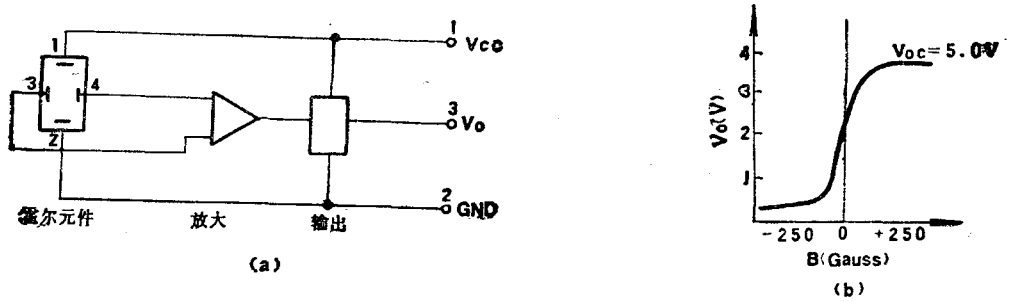


图1-23 霍尔集成电路的构成与特性

(a) 霍尔式集成电路的构成　　(b) 霍尔式集成电路的特性

图 1-24 是霍尔电机的示意图。霍尔元件按一定角度的间隔安装在电机的主定子上，作为转子位置传感器的定子。电机本体的主定子绕组由彼此成 90° 空间角度的集中线图构成。主转子的磁钢既是电机本体的转子，又是提供霍尔元件激励磁场的位置传感器的转子。当电机转子处于图中所示位置时，转子磁场通过霍尔元件 H_1。只要事先加有控制电流，H_1 便有霍尔电势。其输出经主轴稳速电路的闭环控制由图示的功率管驱动定子绕组，使转子按逆时钟旋转一个角度。当转过一个角度时，霍尔元件 H_2 有信号输出，通过功率管使绕组馈电。定子绕组按这样的顺序依次馈电，产生超前于转子的跳跃式旋转磁场，使电机连续旋转起来。

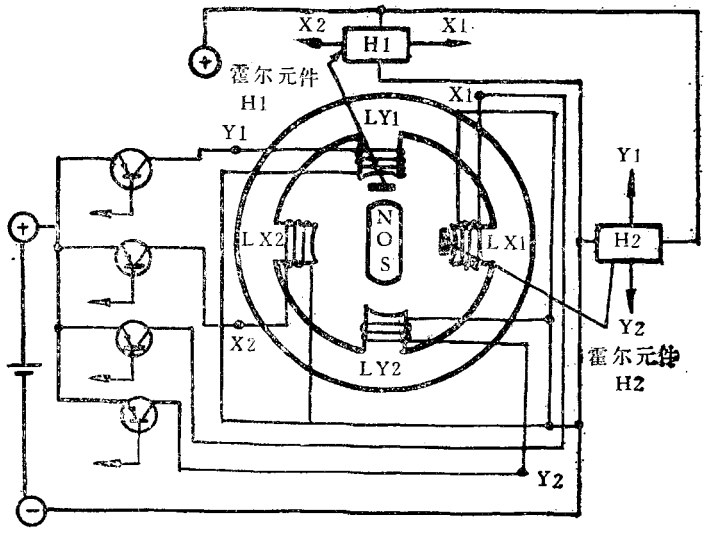


图1-24 三相霍尔电机示意图

2. 磁头驱动电机

用于小型磁盘机中的磁头驱动电机主要有两类：步进电机和音圈电机，但也有少数制造厂商例美国的 Quantum 和 CMI 两个公司采用力矩电机作为硬盘机的磁头驱动电机。下面着重介绍步进电机和音圈电机的结构、原理及其在磁盘机中的应用，最后再简介力矩电机。

(1) 步进电机　步进电机是一种将脉冲信号变换成角位移的机电元件。这种电机的定子上嵌有多相控制绕组；转子为有齿的铁芯或永久磁铁，具有多极结构。当控制绕组通以脉冲电流时，转子将转动一个角度，即步进一步。在实际应用中，是各相绕组轮流通电，产生步进运动，其控制原理如图 1-25 所示。由图可知，为达到各相绕组轮流通电之目的，要采用电脉冲分配电路，将串行的脉冲序列转换成相位按一定规律变化的多路控制脉冲(与电机的相数相同)。经功率管，驱动步进电机。

步进电机有以下四个独特的优点：

① 作为执行元件用于控制系统时，使系统结构简单，工作可靠、价格低廉。

② 步距值不受各种干扰因素的影响。如电压的大小、电流的数值和波形、温度的变化等等。相对来说，都不影响步距值。也就是说：转子的转动速度主要取决于脉冲信号频率，而转子转动的总角位移量与脉冲个数成正比。

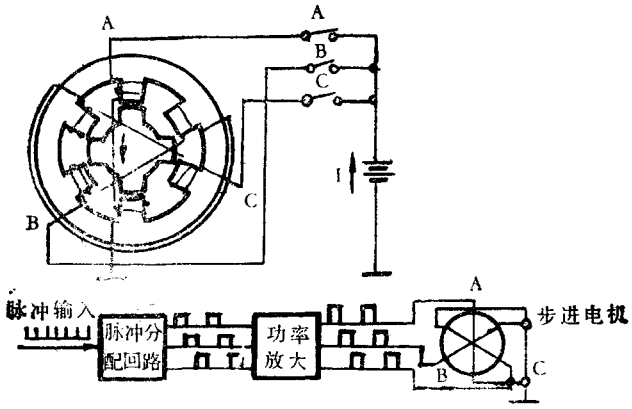


图1-25　步进电机控制原理图

③ 控制性能好。起动、停止、反转及其它任何运行方式的改变，只要变更控制绕组的供电顺序和通断，都可方便地实现。在一定的频率范围内运行时，任何运行方式都不会失步。

④ 转角小，响应快，重量轻。

正因为步进电机有这样一些特点，所以在小型软盘机和低挡小型硬盘机中得到广泛应用。

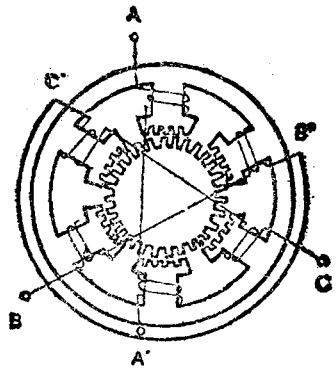


图1-26　三相感应式步进电机示意图

步进电机的种类很多，最常见的有感应式，永磁式和混合式。三种步进电机的基本工作原理相似，下面以感应式步进电机为例加以说明。

图 1-26 中的步进电机，其定子和转子是由硅钢片或其它软磁材料制成。定子有三对磁极，每对磁极上有一相绕组（转子上没有绕组），三相绕组接成星形。转子铁芯及定子极靴上均有小齿，两者齿距相等。定、转子之间有很小的气隙。当 A 相绕组通以直流电（其它两相不通电），并且定、转子间的气隙磁场与 A 相绕组轴线不重合时，转子受磁场拉力作用，便产生转矩。当转子转到其轴线与A 相绕组轴线一致的位置时，转子只受径向力作用而不受切向力作用，使转矩为零，停止转动。或者说，在A 相通电的情况下，转子的位置总是力求使A 相磁路的磁导为最大。在这个位置上，即在A 极的磁极下，转子的齿与定子的齿完全对准，使转子具有自锁能力。如果由 A 相绕组通电转换到B相绕组通电，转子就要转到其轴线与 B 相绕组轴线一致的位置，转子就在空间转过 60°，也称为步进了一步，这个角度称步距角。按 A、B、C、A 顺序通电，转子以顺时钟方向一步步旋转；按 A、C、B、A 顺序通电，转子则以逆时钟方向一步步旋转。以一相通电换接到另一相通电，叫做一拍。每一拍，转子旋转一个步距角。三相依次接通运动的方式叫做三相单三拍运行。按AB、BC、CA、AB顺序通电的运行方式叫做三相双三拍运行。由于定子的齿极上增加了小齿，转子也可做成多极结

构，此时步进电机每一步的转距角为

$$\theta_b = \frac{360^\circ}{NZ_R}$$

式中：Z_R 为转子的齿数。

N 为转过一个齿距的运行拍数，它通常等于步进电机的相数，但有时也可为相数的两倍。

图 1-27 是混合式步进电机的结构示意图。由图可知：其定子结构与感应式步进电机相同，磁极上开有许多小齿，转子由环形磁钢和两端铁芯组成。转子铁芯上沿圆周方向开有与定子齿形参数相同的小齿，但一端铁芯上的小齿与另一端铁芯上的小齿要错开 ½ 的齿距。这种电机兼有感应式电机与永磁式电机两者之优点：步距角可做得很小，1.8° 或 0.9°。起动和运行频率高，绕组断电时有锁定力矩与功耗小等特点。目前，小型磁盘机中使用的步进电机，几乎全是混合式的。

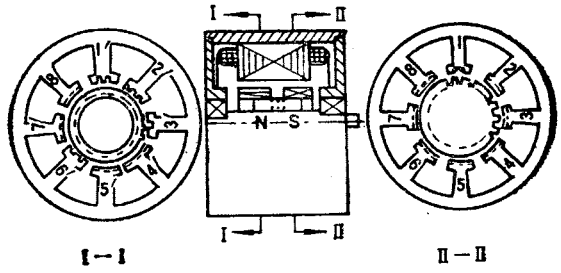


图1-27 混合式步进电机结构示意图

衡量步进电机特性的最主要参数是：步距角，最大静转矩，最高运行频率，静态步距角误差和暂态性能等。希望有大的静态转距，高的起动频率和高的运行频率，小的步距角误差，以取得高的道密度和短的找道时间。表1-3是日本Servo公司生产的一种步进电机的主要参数表。

表1-3 Servo公司步进电机参数表

步进电机型号 / 技术参数	KP39EM1	KP39EM2
相数	2	2
步距角度/步	0.9	1.8
供电电压 V（伏）	12	12
供电电流 A/相	0.32	0.32
保持力矩 Kg-cm	0.25	0.5
锁定力矩 g-cm	20	20
重量 Kg	0.14	0.14

（2）音圈电机　按结构特点分，有长音圈电机和短音圈电机；按线圈运动方式分，有直线式音圈电机和旋转式音圈电机。

长音圈电机的线圈比磁路气隙长很多；相反，短音圈电机的磁路气隙比线圈长很多。图 1-28 和图 1-29 是短音圈电机和旋转式音圈电机结构示意图。

不管采用何种结构和何种运动方式，几种音圈电机的工作原理都是相同的。当音圈中通以一定的控制电流时，通电线圈在磁场中将会受到电磁力的作用而运动。运动的速度和方向由控制电流的大小和方向决定。图 1-30 是音圈电机的作用原理示意图。由图

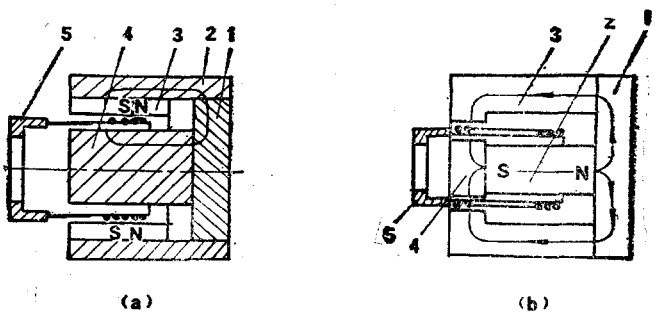


图1-28　短音圈和长音圈电机结构示意图

1—后极；；2—磁钢；3—外极；4—芯柱；5—音圈

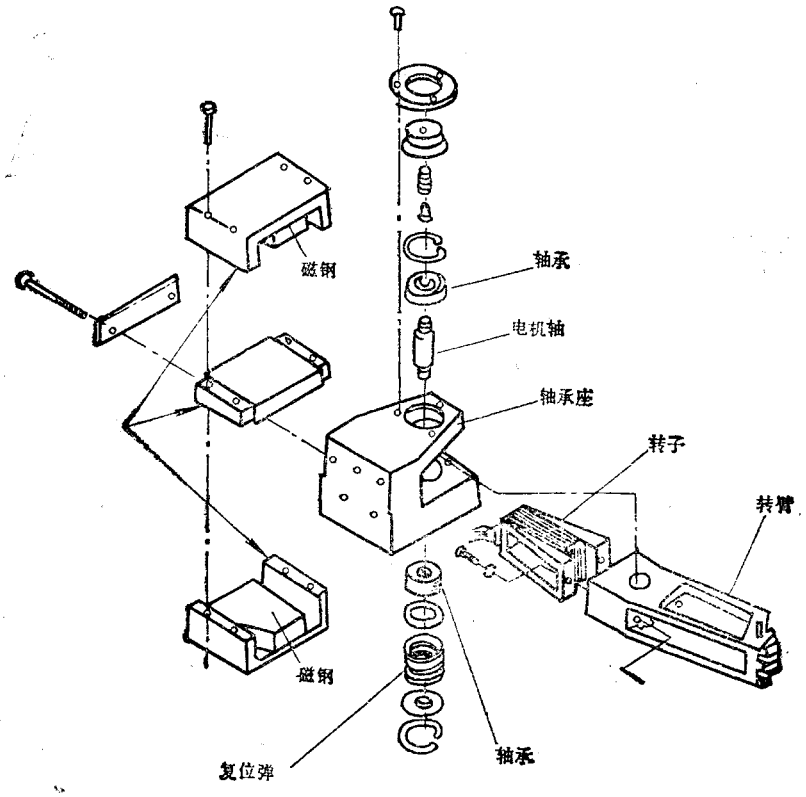


图1-29　旋转式音圈电机结构示意图

1-28可以看出，音圈电机的基本组成有五大部份：永磁体磁钢、音圈、芯柱、后极和外极。其中永磁体用磁能积较大的材料制成，以利于缩小电机的体积。常用的有铝镍钴、稀土钴类和钡锶铁氧体类等永久磁材料。前、后极及芯柱都采用具有良好导磁特性的软磁材料如电工纯铁等，使它们在磁路中产生的磁势降尽可能小，而使永久磁体产生的磁势的绝大部份降在磁路的气隙中，在气隙中产生磁道密度达4000～7000高斯。音圈常用截面积为矩形的铝线绕在机械强度极高的绝缘材料的骨架上。采用矩形截面的导线，可

在有效长度上增加线圈的利用系数。采用高强度的树脂材料作骨架，不仅可保证有足够的刚度，还可以防止线圈运动时在骨架中产生感应电流而增加运动的阻尼力。当音圈中通以控制电流I(安培)时，音圈将受轴向力F(牛顿)的作用，F的量值与电流I、气隙中的磁通密度(韦伯/米^2)和气隙磁通相交链的音圈导线的长度l(米)成正比，即：

$$F = BlI$$

由于长音圈电机能充份利用电机的磁通密度，虽然控制功率利用不足，但在同等条件下(即同样的工作行程、同样的负载及相同的永磁材料)，体积可比短音圈电机制作得小，这一点对小型硬盘机来说，显得更重要。因此在高性能小硬盘机中都是采用长音圈电机。

(3) 直流力矩电机　直流力矩电机是一种能够长期工作于堵转状态下的低转速、大力矩的直流电机。它具有反应速度快、转矩和转速波动小、在很低的转速下运行稳定和机械性好、调速特性线性度好等一系列优点，特别适用作位置伺服或速度伺服中的执行电机。直流力矩电机的工作原理与普通直流伺服电机相同，只是在结构上要作成扁平状，电枢长度与直径之比一般均在0.2左右。力矩电机的这些特点正适合于小型硬盘机定位系统的要求，因此有不少磁盘机制造厂商，例如Quantum公司和CMI公司，在他们的5.25英寸硬盘机中采用了这种电机，控制磁头的位置，其响应的快速性与旋转式音圈电机相当。

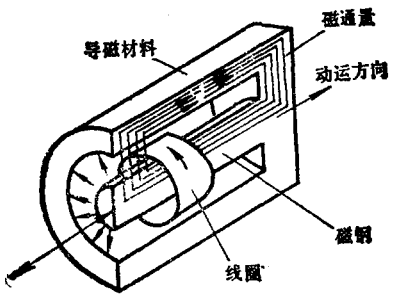


图1-30　音圈电机作用原理示意图

三、磁头的结构和电性能

磁头是记录信息决定记录密度的主要部件，根据各种类型磁盘机的不同要求和工作特点，磁头的具体结构和要求也有所不同。软盘与硬盘磁头虽然有差异，但作为电磁转换部件，它们的基本构成和评价指标有其共同性。

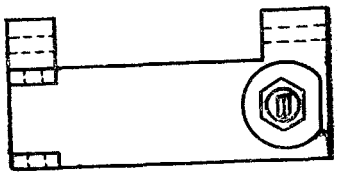
磁盘机的维修和设计工作中，会遇到如何更换磁头、选择和确定磁头参数的问题。一般是根据磁盘机的结构、记录密度、盘片性能以及安装磁头的空间尺寸等要求，合理地选择磁头的有关参数和指标。

软盘机的记录密度和记录频率都比较低，对工作环境的要求也不高，磁头与盘片采用了接触式工作方式。硬盘机的记录密度和频率都较高，无论是磁头材料还是结构、电气参数都有了极大改进，并采用接触启/停的工作方式。在磁头工作时，头、盘间隙小于0.5μm。在第一代温盘磁头的基础上，又发展出一种称作月牙型(Whitney)的磁头，它较第一代温盘磁头轻巧，性能更高。图1-31是三种磁头的结构图。

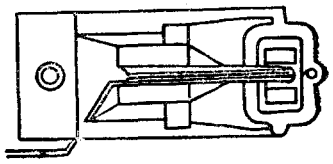
完整的磁头组件通常由磁头、浮动块及其支承系统三部分组成，有时将磁头组件简称为磁头。

1. 浮动块及其支承系统

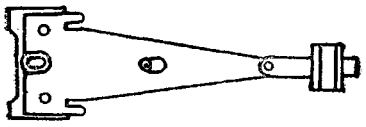
支承系统主要由簧片、支臂等组成。将浮动块装在支臂上，通过支臂带动磁头和浮动块移动，同时利用加载簧片向磁头提供与空气浮力相反的加载力，使磁头与盘片间保



软盘磁头



温彻斯特型



月牙型

图1-31　三种类型磁头示意图

持恒定的距离。因此，利用支承系统可维持浮动块对盘面良好的跟随性。

浮动块的功能就是提供磁头负载支承面，使受到气流作用的磁头能稳定地浮离盘片表面。浮动块一般采用陶瓷材料制成。可将磁头磁芯的读/写前间隙装在浮动块最小浮动间隙处，这将获得最大的读出电压。浮动块的大小和形状直接影响磁头的浮动高度。为了降低磁头浮动高度，减小外加负载力，必须减小浮动块的尺寸并考虑适当的泄流方式。温式磁头浮动块大多做成“二轨式”，在浮动面的中央，沿磁盘切线方向开有二条泄流槽。它的浮动面分布在浮动块的两侧，因此大大减小了浮动面的尺寸。温式磁头浮动高度比较小。将浮动块和磁头磁芯都采用同一材料的铁氧体制成，称为整体式磁头。

软盘的头、盘是接触式工作的，它没有磁头浮动问题，因此不必精心设计磁头的结构、尺寸来保证磁头良好的浮动特性。由于它是接触式工作的，因此在选择材料和制造上就必须考虑磁头的耐磨性以及与盘片保持一定的接触力等问题。此外，软盘具有互换性要求，所以制造和安装磁头时必须保证磁头正确的安装方位及安装尺寸。

2．读/写磁芯的结构与特性

读/写磁头是完成电磁转换的关键部件，它由磁芯和线圈组成。温式磁头与软盘磁头的最大差别在于后者不但有读/写磁头还有抹磁头。

(1) 磁芯结构与材料　硬盘机的定位精度比较高，没有互换性要求，为了简化磁头结构，一般只有读/写磁头没有抹磁头。软盘机装有抹磁头，抹磁头分别固定在读/写磁头的两侧。读写磁头实现信息的写入和读出；抹磁头用以抹去读/写磁头两侧产生的杂散磁场，以消除邻道间的干扰。根据抹磁头产生的磁场的方向不同，又可分为跨立抹和隧道抹二种抹除方式。工作时，抹线圈中通入直流电，产生恒定的抹去磁场，抹除磁场使相邻磁道间形成一个空白区。这样，当磁头位置和磁道实际位置之间存在误差时，不致于把相邻道的信息一起读出而造成错误。所以，抹除磁头改善了软磁盘的互换性。

读写磁芯的结构参数主要包括磁芯的尺寸、线圈的匝数和线径，这些参数加上磁芯材料决定了磁头的性能。这些参数的选择与盘片性能、浮动间隙等因素有关。

磁头前隙宽度 g 一般由记录位密度决定，通常取：

$$g = (1/3 - 1/5)\lambda$$

式中 λ 为记录最短的波长。例如 5.25 英寸硬盘机和软盘机的磁头的 g 取值分别为：

$$g_{硬} \doteq 1\mu m$$

$$g_{软} \doteq 27\mu m$$

g 取值过小，读/写信息时，将有部分磁通会从前隙泄漏，因此将使磁头效率 η 降低。

读/写磁芯宽度 W 一般由道密度决定。道密度为 48TPI 的软盘机和 360TPI 的硬盘机其 W 取值分别为

$$W_{硬} \doteq 53\mu m$$

$$W_{软} \doteq 330\mu m$$

当写入饱和电流确定之后，可根据 d、λ 取值计算出所需的线圈匝数 n。

由电磁场理论可知，电感量 L 与 n 和导磁率 μ 有关，并且还与结构参数 W、g 有关，见式：

$$L = \mu_0 n^2 \frac{Wdg}{g}$$

式中 dg 为浮动间隙。

磁头一般采用铁氧体材料做磁芯，主要采用二种铁氧体材料，即镍锌铁氧体和锰锌铁氧体。后一种材料的导磁率和饱和磁通密度都比较高。铁氧体磁头的主要缺点是导磁率会受到频率增加的影响使效率变低。同时在高频时，感抗过大，使数据传输速度受到影响。因此要求磁头磁芯的材料：

① 采用良好的软磁材料，矫顽力和剩磁小。

② 导磁率高。

磁头线圈的等效电路见图 1-32(a) 所示。磁头通过 a、b 两端和电路联接。从电路向磁头端口看时的输入阻抗为 Z_0。对磁头来讲，等效电路中的电动势 E 表示读出时的感应电动势。对写入状态来说，在等效电路中就没有 E。图中的 L 代表磁头线圈的电感。电感L和磁路中的磁阻 R_m 成反比，而磁阻 R_m 是随频率升高而增加，所以电感 L 也就随着频率的升高而减小。图中的 R 表示电阻，严格地讲，它不仅包括线圈的直流电阻，而且也包括铁芯的涡流和磁滞损耗所等效的电阻，因此电阻 R 也是频率的函数，随频率的升高而增大。图中的电容 C 不仅包括线圈中的寄生电容，也包括线圈和电路连接时导线之间的分布电容。可见，磁头的等效电路是一个消振回路，其谐振频率 W_r 等于：

$$W_r \doteq \sqrt{LC}$$

其品质因数 Q 等于：

$$Q \doteq W_r L / R$$

因为在磁头磁路中存在气隙，所以磁头的电感 L 对电阻 R 的比值相对比较小。这使等效电路频率特性的峰值比较平坦，为避免出现振荡，电路的工作频率应低于等效电路的谐振频率 W_r。

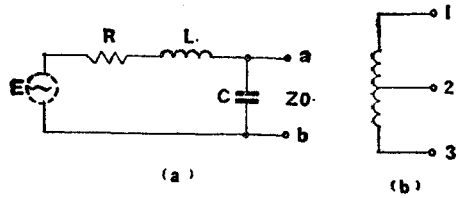


图1-32 读/写线圈的结构

(a)磁头的等效集中参数电路 (b)读/写线圈

为了减小磁头的体积，简化磁头的结构和工艺，目前在磁盘机中，读和写大多使用同一磁头铁芯和同一组线圈。如果增加线圈匝数 n，可以使读出电势的幅度增大，这是有利的。但是却增加了线圈的电感，因电感 L 与 n^2 成正比。对写入来说，写线圈的电感增大会使写电流翻转时前沿时间加长，有可能加宽磁化翻转的过渡区，这是不希望的。为了解决这个矛盾，

读/写线圈采用中心抽头的形式，如图 1-32(b) 所示。读出时，线圈中点“2”悬空，写入时，线圈中点“2”接地或某一电平。这时线圈分成两半，当电流由“1”端流入到中点时，产生某一方向的磁场；当线圈由“3”端流入到中点时，产生相反方向的磁场，即每次线圈只有一半是工作的。所以写线圈的匝数为读线圈的一半，写线圈的电感为读线圈的四分之一，这样就兼顾了读和写对线圈匝数的要求。

读线圈匝数 n 增加，带来读出幅度增大的好处，但磁头电感 L 和 n^2 成正比；线圈的寄生电容也和 n 成正比，所以增加匝数会使等效电路的时间常数增大和使磁头的频率特性变差。

3. 磁头的电气特性

磁头电气特性包括静态特性和动态特性。

(1) 静态电气特性　静态特性的参数有直流电阻 R 和电感 L，其值均可用精密电桥等仪器测量。不同的磁头其参数会有较大差别。如 5.25 英寸双面双密度软盘机，其磁头的静态电参数值可为：

读/写磁头：

电阻　$R_{13}=16\Omega$，$R_{12}=R_{23}=8\Omega$

电感　$L_{13}=1.75mH$，$L_{12}=L_{23}=0.26mH$

最小谐振频率　$f>500^{K}Hz$

抹磁头：

电阻　2.5Ω，电感　$15\mu H$

硬盘机的磁头静态参数可为：

电阻　$R_{13}=4\Omega$，$R_{12}=R_{23}=2\Omega$；

电感　$L_{13}=10.5\mu H$，$L_{12}=L_{23}=2.7\mu H$

谐振频率　$f>20MHz$。

(2) 动态电气特性　动态电气特性参数主要有写电流饱和特性、频率特性、磁道偏离特性，重写残余度，分辨率等一系列指标。由于动态参数的测试与盘片、磁头、测试线路、测试信号的频率、波形等条件有关，所以测试中都预先规定一些测试条件，主要包括：

① 要使用校正过的盘片作测试盘片。

② 具有稳定的盘片转速，使头、盘保持规定的线速度。

③ 要选定测量磁道的半径位置，一般在盘片内、外磁道各选几道。

④ 写电流的上升和下降时间和超调量要在一定范围内。

⑤ 对测试环境的温度、湿度、洁净度要有严格的要求。

下面分别讨论磁头的动态电气特性。

① 写电流饱和特性　在一定的频率下，磁头的读出信号的幅度随写电流幅度变化的曲线 $U=F(I_W)$，称为写电流饱和特性，如图 1-33 所示。当写电流较小时，磁记录层未被完全磁化，其剩余磁化强度随电流增大而增大，因此读出幅度也随之增大。当写电流增大至 I_a 时，读出信号的幅度达到最大值，I_a 即为使磁层完全饱和磁化的电流值。一般选择比 I_a 稍微大些的 I_b 作为写电流值，以确保介质达到完全饱和状态。

② 频率特性与读出幅度　在一定的写电流下，磁头读出信号的幅度与写电流频率的

关系曲线称为频率特性。如图 1-34 所示。

其输出幅度波形因频率高低而不同。在低频时，读出信号的脉冲是孤立的，而在高频时，读出信号随频率而变化。

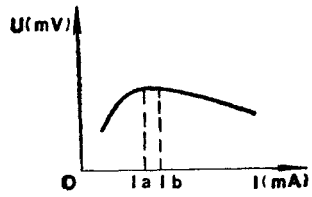


图1-33 写电流饱和特性

③ 分辨率 分辨率是表示某个频带内的磁头输出特性。在内、外磁道分别记录频率为 1F 的信号，并分别测量它们被读出后的平均输出电压，然后用直流抹去该信号后，再分别记录频率为 1F 频率二倍的2F频率的信号，并测量其平均输出电压。分辨率即为两次输出电压的比值，可定义为：

$$\text{分辨率} = \frac{\text{2F的平均输出电压}}{\text{1F的平均输出电压}} \times 100\%$$

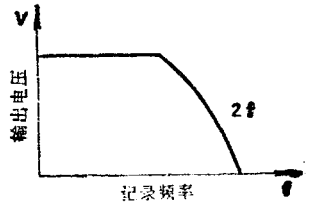


图1-34 频率特性曲线

要求软盘机内、外磁道的分辨率分别为：

内磁道 大于 45%

外磁道 大于 70%，小于 90%。

要求硬盘机的分辨率为：

内磁道 大于75%

④ 重写残余度 重写残余度是由于写电流特性的频率相关性而产生的。特别是在前面用低频记录的信号上再用高频重写时，由于介质没有完全被饱和磁化，输出信号很可能被调制。

测量方法是在同一磁道上，采用恒电流写入 1F 信号，再写入2F信号，然后测出磁头读出信号的 1F 的分量，用 dB 表示，一般要求重写残余度为 - 25～30dB。

⑤ 数据窗口余量 窗口余量是评价磁头性能的重要指标。测量时，先用直流抹除盘片上的杂散信号，再对盘片写入一数据信号。然后取一定的时常数逐步递增，离开数据窗口中心作数据检读，直至读出错，这时可测得允许偏离数据中心的总的窗口余量。

⑥ 磁道偏离 磁头的磁道偏离特性是：当磁头偏离磁道中心线时，读出电势的幅度随磁头偏离变化的特性。测定和评价磁道偏离特性对于规定磁道间距和道宽以及磁头定位精度是非常重要的。具体测量方式是：在某一磁道上记录信息，然后使磁头在与磁道垂直方向上分别左右移动，测得这时磁头读出信号幅度曲线如图 1-35 所示。

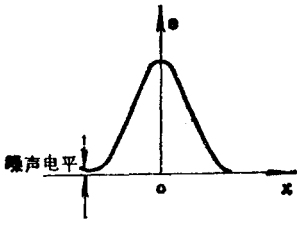


图1-35 磁头偏离道中心时读出电压

第三节 小型磁盘机主要技术参数的含义

磁盘机的技术参数和指标很多，但对使用者来说，最关心的是制造厂商公布的技术参数规范表中的一些参数、指标的含义。有些参数或指标，例如主轴电机的转速，功耗，外形尺寸等，无需解释，但有部份技术参数和指标，属于用户十分关心或维修、调

整测量时应掌握的一些参数和指标，例如检读窗口余量，分辨率等。为此，下面将介绍技术规范表中应解释的技术参数含义和上述第二类的技术参数、指标的含义。

一、记录密度

记录密度以道密度和位密度来评定，也可用两者的乘积即面密度来评定。

(1) 道密度　磁盘片用来存储数据的许多同心圆称作磁道。道密度是指沿盘片径向方向，在单位长度内所允许记录的磁道数目。它用每英寸的磁道数表示，记作TPI；也可以用每毫米磁道数来表示，记作 TPM。软盘机道密度比较低，通常只有48TPI～96TPI，而硬盘机道密度比较高，通常在 300TPI 以上。道密度与磁头、盘片、定位控制的精度，读、写电路的性能有关。

(2) 位密度　在盘片记录内区、沿磁道圆周方向单位长度内所记录的数据位“0”或“1”的个数称作位密度。一般，位密度指最内圈磁道的位密度，它可以用每英寸位表示，记作 bPI；也可用每毫米位表示，记作 bPM。软盘机的位密度一般为 6000bPI 以下，硬盘机的位密度可达到 10000bPI 以上。位密度与磁头、盘片、读写电路、记录方式有关。

二、存储容量

存储容量指磁盘机所能存储的数据字节总数，单位为千或兆字节，记作 KB 或 MB。通常将存储容量分为非格式化容量和格式化容量两种指标。格式化容量按下式计算：

格式化容量＝字节数/扇区×扇区数/道×磁道数/面×面数×轴数

对大多数软盘机来说，面数为“1”或“2”；对硬盘机来说，至少2面以上。有的多达15面。在大型硬盘机中，有的一台设备有几个轴。虽目前的小型硬盘机尚没有多轴的，但今后趋势是十分有可能出现的。

例如 IBM PC/XT 所用的硬盘机其格式化容量为：

格式化容量＝512B×17 扇区×306 道×4 面＝10.65MB

非格式化容量是按位密度乘内圈磁道周长计算出来的每道存储容量再乘以道数、面数而得出的存储总容量。

一般规律是格式化容量为非格式化容量的百分之八十左右。

三、平均找道时间和平均访问时间

存取时间是指磁头从起始位置到达目标磁道位置稳定下来，并且从目标磁道上找到要读或写的数据的扇区所需的全部时间。它包括磁头移动时间T_s和等待所需存取的数据旋转到磁头下方所需的时间(也称旋转延迟时间)。一般称盘片旋转一周所需时间的一半为平均旋转延迟时间或平均等待时间。称 T_s 为找道时间或定位时间。但仅有找道时间，很难全面反映磁盘机的存取速度。例如，从平均找道时间看，硬盘机与软盘机都可做到90ms左右。然而，前者的磁道数是后者的十倍多，甚至几十倍，因此硬盘机的实际找道时间要比软盘机快得多。况且软盘机的转速低，平均等待时间长，约 100ms；而硬盘机的转速高，平均等待时间短，约为 8.3ms。所以硬盘机的实际存取速度比软盘机快得多。此外，硬盘机具有根据道差不同快速找道的能力。有时，计算平均找道时间，不是

取最大找道时间加最小找道时间的算术平均值，而是采用统计平均值。在实际测量中，通常将最大找道时间和最小找道时间之和的三分之一作为平均找道时间。

对用户来说，最关心的是平均找道时间与平均等待时间之和即平均存取时间这一个综合反映存取速度的指标。对硬盘机来说，由于平均等待时间较短，缩短平均找道时间确能有效地加快存取速度。然而对软盘机来说，由于平均等待时间较长，当平均找道时间比平均等待时间大时，缩短平均找道时间，确可有效地加快存取速度。但是当平均找道时间已缩短到与平均等待时间相当时，再过分缩短平均找道时间，意义就不大了，因为它并不能有效地加快存取速度。因此，尽管目前已有采用音圈电机闭环定位技术的软盘机出现，但它的设计意图，并不像高性能硬盘机那样，不仅为了提高道密度，也是为加快存取速度，而是主要为了提高道密度、扩大存储容量。

四、数据传输率

数据传输率是指磁盘机与主机之间单位时间内交换的二进制位数。数据传输率D是位密度与盘片内圈线速度的乘积，可表示为：

$$D = \text{位密度(位/英寸)} \times \text{转/秒} \times 2\pi R \text{英寸/转}$$

其中R是盘片记录区的内圈磁道半径。数据传输率用兆位/秒或兆字节/秒表示，记作Mb/s或MB/s。在FM或MFM制记录方式中，数据的最高记录频率等于数据传输率。

五、检读时间余量

目前，大多数磁盘机都采用峰值检读法，故可用检读窗口宽度Tw表征检读分辨力。

时钟脉冲间隔是判断“0”或“1”的时间基准，称为检读窗口宽度。它的值与编码方式有关，可用下式表示：

$$Tw = (m/n)T_0$$

式中：m表示编码前数据序列位数；n为编码后的位数；T_0表示记录序列的位周期。

对FM制编码，m=1，n=2，则$Tw = 1/2T_0$；对不归零制而言，m=1，n=1，则$Tw = T_0$。因此编码方式不同，Tw也不同，峰值偏移量也不同。

以检读窗口宽度Tw与最大峰值偏移量之差定义为检读时间余量，检读时间余量越大，可靠性越高。

用最坏恶劣码（DBE码或6BD码），通过改变检读窗口宽度，可测出内磁道在不出错情况下的最大检读时间余量。

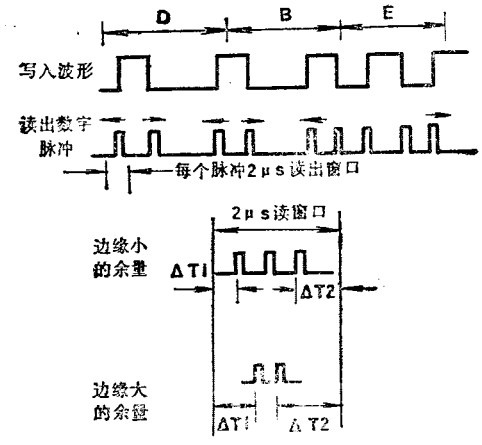


图1-36 时间余量的表示

图1-36给出两个检读时间余量不同的情况。读出脉冲顶部的箭头表示峰值偏移的方向。第一种是时间余量不太充裕的情况。在这种情况下，如果某些原因，使读出脉冲进

一步提前或滞后，读出脉冲将会跳出检读窗口而导致读出错误。等二种是时间余量较充裕的情况，它允许读出脉冲在进一步偏移的情况下，仍不致读出错。因此，检读时间余量是表征误码率的重要因素。在既定的检读窗口宽度的前提下，能间接测出峰值偏移量。

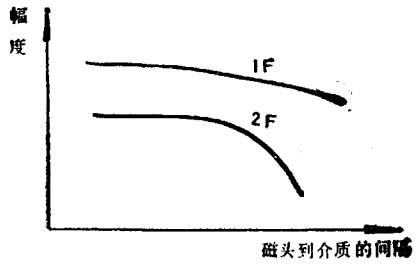


图1-37 2F与1F的幅值与浮动间隙的关系

六、分辨率

在FM制记录方式中，信号有两种频率，即全“0”信号频率1F和全“1”信号频率2F。分辨率可以表达为：

$$\text{分辨率} = \frac{\text{2F幅度}}{\text{1F幅度}} \times 100\%$$

分辨率是测量记录系统质量的重要指标。由于脉冲拥挤效应，1F信号的读出幅度要比2F信号幅度大。当浮动间隙增加时，2F信号幅度的下降速度要比1F信号幅度下降速度快，如图1-24所示。分辨率的大小与磁头间隙宽、介质厚度有密切的关系。分辨率的测量较方便，往往用测量分辨率来估计峰值的偏移量。

七、误码率

误码率是指磁盘机与主机之间连续传输的数据中出现错误位的比率。一般又分为硬错和软错二种指标，它是评价磁盘机可靠性的重要指标。

所谓硬错是指不随环境条件变化而自然消失的误码。例如盘片存在缺陷等属于硬错。

所谓软错是指随环境条件变化或“重试”“重读”后会自然消失的误码情况。例如定位出现微小偏差、电磁干扰等引起的误码。

第二章　磁盘机三大功能系统

第一节　读 写 系 统

读写系统由三个环节构成：磁头、盘片和读写通道。读写系统的性能直接关系到磁盘机的两项最重要的指标——记录密度与数据读写可靠性。因此，读写系统在磁盘机中占有重要地位。

读写系统的基本功能就是将计算机送来的二进制数字序列经编码、写电路、最后转换成磁层的磁化翻转记录序列记录在盘片上，并且可以将盘片上记录的磁元经读电路、译码、还原成数据序列。一句话，就是实现数⟶磁，磁⟶数的转换。读写系统中最关键的部分是磁头和盘片。一旦在磁头和盘片的生产技术上有所突破，便会产生新一代的磁盘机。换句话说，头盘换代标志着磁盘机升级。由记录原理的分析可知，限制记录密度的决定因素是磁头和盘片的性能。读写电路为实现高密度记录提供了信号处理通路。编码、译码电路可提供一种方法，使记录密度更接近磁头、盘片磁化翻转的记录密度容限。但它并不能改变头、盘磁化翻转的记录密度容限；此外，它用来保证高密度记录时的低误码率。人们不断提高集成电路的集成度，采用各种检读、补偿方法，以提高数据检读、转换的可靠性和信噪比。不断地改进记录编码方式，提高记录位密度、降低误码率。不断地推出新的检纠错编码方式，提高系统容错能力。实际上，读写系统的三个环节构成了一个整体，它们在性能上互相补偿，以求互为完善，特别是磁头和盘片，有时还必须配对使用。

在磁记录原理中，已经对磁头、盘片以及磁记录方式三者的关系作了必要的讨论。本章主要介绍读、写电路的工作原理。读写系统的主要功能框图如图2.1所示。

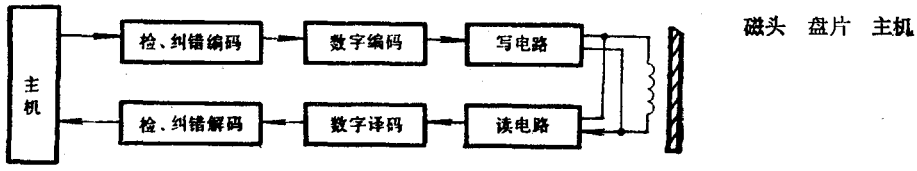


图2-1　读、写系统功能框图

在目前大多数小型磁盘机中，通常不包括编码和译码电路，而将它们放在控制器中，所以本章不讨论这部分内容。

一、写入电路

1. 写入电路的工作原理

磁盘机接到需要存储的信息是一串经过编码的序列脉冲，在它们中间已插入了时钟

信号。通常用脉冲的有、无表示数据“1”和“0”。这些脉冲还不能用来控制磁头工作，只有将它们分频后，才能成为控制线圈励磁的磁化波形，见图2-2。一般用D触发器作分频器，接至磁头驱动管控制磁头线圈轮流导通并产生磁化场。对于带多个磁头的磁盘机，可以利用选头电路，选择指定的磁头进行写操作。为了保证加在磁头上的是稳恒的电流，还采用恒流源电路。软盘机的磁头、盘片是接触式工作的，磁道之间的杂散磁场干扰比较严重，故设有抹电路。利用抹磁头抹去两磁道之间的干扰磁场。写入时，新记录的信息会自动覆盖原先记录的信息，因此每次写入前不用先抹去原先记录的信息。磁头线圈可以采用有中心抽头和无中心抽头两种形式。写入操作必须十分谨慎，否则会“冲掉”原先记录的信息。在写入电路中用写控制线控制写操作。允许写操作的条件大体有：磁盘机收到写命令和写数据；磁盘机工作状态正常；允许写操作(没有写故障或写保护)等信号。磁盘机无论是执行找道，还是处于非工作状态时，读写电路都置于读控制方式，禁止写电路工作，故可避免“冲盘”现象。写电路框图见图2-3。

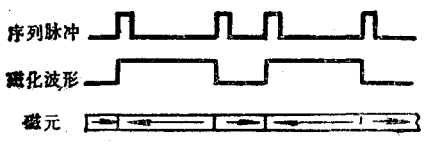


图2-2 写入波形

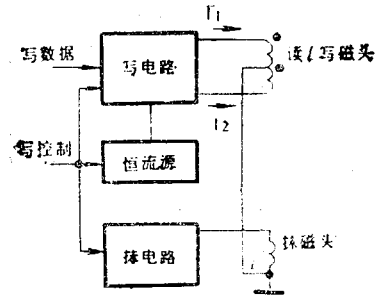


图2-3 写电路框图

综上所述，磁盘机写入过程为：磁盘机收到写命令后，如果磁盘机允许执行写操作，利用写控制线打开写电路；写数据经分频后，利用驱动管带动磁头线圈轮流导通；恒流源向线圈提供稳恒的励磁电流，在盘片上便可形成磁化记录位元。

2．对写入电路的要求

(1) 写驱动电路

① 该电路直接与磁头线圈相连，由于磁头线圈是感性负载，要求驱动管有较高的抗反压特性，并具有一定的功率余量。减少驱动管的开关惰性可缩短写电流过渡区，提高记录密度，所以要求驱动管的开关特性好。

② 有些磁盘机的写电路，不是由分频器直接带动驱动管工作，而是采用多级推动电路。其末级驱动管有时与读放大等电路集成在一块集成电路里，它前面带有几级推动电路，与分频器相连。采用多级推动电路可使前、后级电路电压相匹配，改善了写入波形。

③ 按照末级驱动管的工作状态，可以分成饱和型驱动和非饱和型驱动两种工作方式。写入频率较高的电路，一般让驱动管处于非饱和工作状态，以提高晶体管的开关速度。

(2) 写电流

① 写电流的大小直接影响到磁盘的读出信号幅度、分辨率和重写残余度等指标。写

电流与读出幅度、分辨率以及重写残余度之间的关系见图2-4。图中Is是磁介质的饱和电流。写电流的取值随磁性材料、记录密度、磁头浮动间隙、磁层厚度、磁头线圈的匝数不同而不同。合适的写电流值，应保证磁层底部能够饱和磁化。若写入电流过小，磁层不能充分磁化，使读出幅度降低；若写入电流过大，会使磁化过渡区变宽，写入脉冲更拥挤，磁头读出幅度及分辨率都被降低。软盘机写电流的峰-峰值一般取8～12mA；由于硬盘机磁头线圈匝数少，为保证合适的安匝数，一般取为40～60mA。

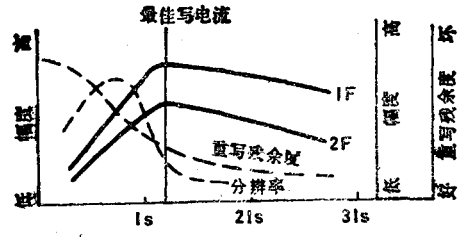


图2-4 写电流与读出幅度、分辨率和重写残余度之间的关系

② 由于磁盘内记录区密度大、拥挤效应明显，所以有的磁盘机采用电流分级记录方式，即内区采用一较小的写电流，外区采用一较大的写电流，道密度越高，磁道数越多，级数也分得越多。例如，软盘机通常不分级，10MB硬盘机一般分为二级写电流。

③ 写电流都是采用恒流源供电，恒流源的交流电阻大，可减少磁头感性回路的过渡过程。同时可减少因写电流波动而产生的写入相移，从而降低读出误码率。

④ 由于磁头线圈可等效为一个含电容的感性负载，造成写入振荡，因此用示波器观察磁头对地的写电压波形是一个有振荡的窄脉冲。窄脉冲的幅度和过冲反映了写电流的过渡过程。过渡过程长，将增大磁化过渡区，降低记录密度。一般在磁头线圈回路里采用泄放电路来减小过冲、降低反压。

3. 磁头线圈

磁头线圈是写电路的负载，其参数关系到写电路的设计。磁头线圈可以用中心抽头，也可以不用中心抽头。中心抽头可以接地，也可以接直流电平。采用中心抽头的线圈，可减少负载电感量，提高读出幅度。但两只线圈不平衡，会降低读出分辨率。

二、读出电路

1. 读出电路的工作原理

盘片上记录的信息，经过磁头、读出电路、数据译码和检纠错解码等一系列环节，最后被还原成计算机的“0”和“1”数据序列。磁盘机送给控制器的是经读出电路检读出的数据和时钟混合脉冲记录序列。影响磁盘记录密度的主要因素是读而不是写，所以要想提高磁盘的位密度，除了要提高磁头和盘片的性能、改进记录方式外，还须提高读出电路的数据检读能力。

磁头的读感应电压是强度很弱的脉冲信号，它有如下特点：

① 读出幅度较小，磁头读出幅度和磁头的特性有关，也和使用的盘片、记录密度和盘片的转速等有关。一般在盘片的内磁道上全“1”信号的读出幅度最低。软盘机的峰-峰值在2mV左右。硬盘机的峰-峰值在1mV左右。

② 信号的幅度差别大。在同一磁道上读出幅度随读出信号的不同而变化。例如，FM记录方式时，读全“0”信号时，幅度大；读全“1”信号时，幅度小。外磁道读出

信号幅度大，内磁道读出信号幅度小。同一磁盘机上读出信号的幅度最大可相差十几倍。

③ 读出信号中包含有几种频率的基波信号。此外，还含有高次谐波。软盘机读出信号的频带为几百 kHz，硬盘机的频带达几 MHz。

④ 读出信号的峰点有偏移。记录密度越高，峰点偏移越严重。内磁道和外磁道比，内磁道记录密度高，峰点偏移严重。

⑤ 读出信号的两个相邻峰点之间还可能出现驻点。由于峰点和驻点处的一阶导数均为零，所以读出信号经微分后，峰点和驻点均变成零点。经鉴零检测电路，有可能把驻点误认为是峰点。这种假峰点一般出现在外磁道上，因为它的记录密度比较低。

⑥ 读出信号中夹杂有大小不同的噪声信号。例如，可能由磁介质引起的噪声或记录磁头引起的噪声等。这些噪声对读出信号都是有害的。

读出电路主要由前置放大、主放大、数据鉴别、脉冲整形电路等几部分组成。为了提高读电路的数据检读能力，一般还设有补偿电路和滤波电路。读出电路的框图如图2-5所示。

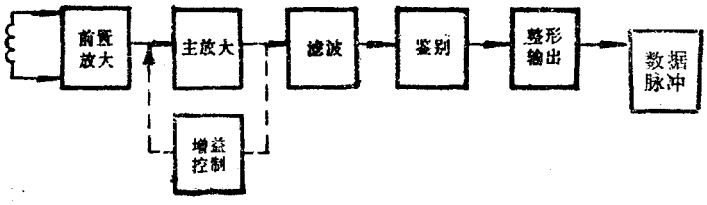


图2-5 读电路框图

2. 对读出电路要求

(1) 前置放大电路 由于磁头读出信号的频率比较高，幅度较小，容易受到干扰。所以，一般采用宽带线性电路先放大磁头读出信号，该电路通常称作前置放大电路。前置放大电路须有一定的带宽和放大倍数，要求抗干扰能力强，能无畸变地将磁头读出信号加以放大。磁头读出信号不宜用长线传输。为缩短磁头引线长度，减少干扰，通常将前置放大电路尽量放在磁头附近。在硬盘机上，有时将前置放大器放在 HDA 内部连接磁头的挠性电缆上。为了排除外来共模信号的干扰，前置放大器采用“共模抑制比”非常高的差动放大器。前置放大器大多采用组件电路，一些厂家将选头、写入等电路与前置放大器都集成在一块集成电路里。

(2) 主放大电路 前置放大电路的放大倍数不宜做得很大，所以经前置放大后的信号，其幅度还是比较低的。为了可靠地鉴别出数据信号，送往鉴别电路的信号必须具有一定的幅度。采用具有宽带放大能力的主放大电路将前置放大输出的信号进一步加以放大，以提高读出信号的幅度。前置放大电路与主放大电路之间通常设有高频滤波网络，可以滤去读出信号及传送中产生的高频寄生信号。

(3) 自动增益控制回路 由于磁盘机上各种读出信号的幅度可能相差几倍甚至十几倍。特别是有的磁盘机，盘片上刻有供定位用的伺服信号，为简化读电路，对伺服信号和数据信号的检读共用一条读放大通路，然而伺服信号幅度随磁头位置不同而变化，因而伺服信号读出幅度的波动范围更大。为了保证正确地检读电压信号，采用自动增益控制电路，以均衡信号幅度的波动，提高电路的抗干扰能力和稳定性。在一些高记录密度的硬盘机中，大多带有自动增益控制电路，而软盘机一般不需这种电路。

(4) 低通滤波器 由于从磁盘机上读出的是高频小信号，频带比较宽，因此容易

引起高频干扰或高频寄生振荡，可利用低通滤波器消除干扰。读电路中的低通滤波器是一个频带从直流到几 MHz（根据信号频率定）的三阶或五阶滤波网络，对它的要求是：

① 在通带（见图 2-6）内信号衰减与频率无关，相当一只纯电阻。

② 在截止频率 fc 以外，信号衰减应很快。

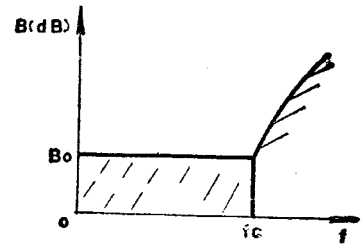


图2-6 滤波网络的通带

③ 滤波器的截止频率 fc 一般为工作频率的 1.5 倍。

(5) 鉴别电路 该电路的功能是正确地鉴别出“0”和“1”信号，将模拟信号转换成数字信号。对于不同的记录方式和鉴别方式可以采用不同的鉴别电路。鉴别电路的种类很多，在磁盘机中通常采用幅度鉴别，峰值鉴别和过零交叉鉴别等几种方法。

幅度鉴别法比较简单，它可排除磁盘机上的噪音和其它干扰信号的影响，增加鉴别可靠性。它的工作原理是：预先设定一定的门槛电平，当读出信号的幅度超过门槛电平时，表示有信号输出，即表示输出为“1”；否则表示为“0”。但是在高密度磁盘机中，因读出信号的幅度差异很大，而且也不稳定，幅度鉴别法就不能胜任了。

峰值鉴别法在磁盘机中使用最普遍。放大后的信号经微分后，其峰点变为零点，这时可用零点表示信号“1”。

过零交叉鉴别电路可与峰值鉴别电路配合使用。将微分后的信号送至过零交叉鉴别电路的输入端，然后可以鉴别出信号“1”。该鉴别电路输出的方波信号，以其跳变沿表示信号“1”。

硬盘机的记录密度比较高，为了减少数据检测时信号畸变及延时，通常采用高速的 ECL 电路作为检测器件。

(6) 数字滤波和整形电路 磁盘机通常采用峰值检测电路，在检读“101”这类码时容易出现假零点。利用数字滤波电路可以滤去假零点信号，提高鉴别电路的可靠性。

整形电路就是对鉴别后的信号加以整形，然后对跳变沿进行检测，最后输出脉冲序列信号。

(7) 均衡电路 采用高记录密度的磁盘机，由于脉冲拥挤效应，读出信号不但幅度被减小，而且峰值会偏移，以致造成检测困难。为此，需要对读出信号作相位和幅度的补偿，以恢复读出信号原有的峰点位置并得到应有的电压幅度，这种读出补偿电路又叫均衡电路。均衡电路的种类很多，其中用得较多的是二次微分和时域均衡电路。

二次微分电路可以使读出波形压窄，以减小相邻位干扰的影响。其基本原理就是将磁头读出的波形看作基波，将它作二次微分，然后将原波倒相放大与二次微分后的波形迭加，便可得到一个压窄的波形，见图 2-7。

时域均衡电路也可用于读出补偿使用。由于在传输线上传送的是脉冲而不是模拟信号，但脉冲在传输中也会造成失真。从时间函数分析，脉冲失真主要是上升沿、下降沿的变化、信号延迟或幅度减小。为了解决脉冲传输中的失真问题，可以使用时域均衡器。时域均衡电路主要由延迟线、倍增器和加法器组成。如果将这种均衡电路稍作修改，就可用作读出补偿。如图 2-8 所示，用二级延迟线 T_1、T_2，并使 $T_1 < T_2$；倍增器 G_1、

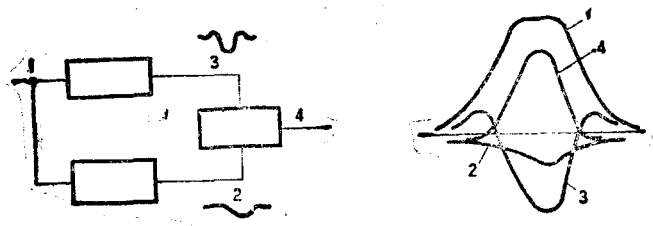


图2-7　二次微分电路原理图

G_2和G_3的输出分别为A_1、A_2和A_3，将A_1+A_3送到差动放大器的一端，A_2送到另一端。经过差值放大就可得到一个被压窄的波形。这种电路不象二次微分电路那样，在线路内会产生高次谐波，而是利用原波本身在不同时间内、按不同幅度进行叠加，也就是直观地用时间概念来取得高的压窄波形，有助于对偏移的改善。

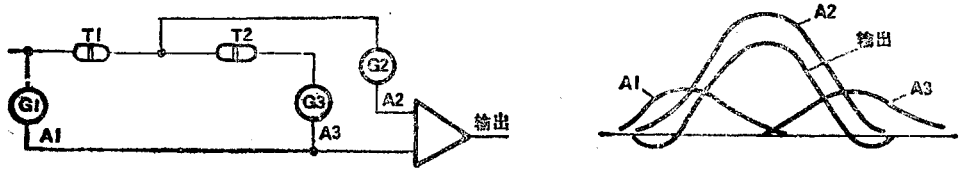


图2-8　时域均衡电路原理图

第二节　定位系统

一、概述

磁盘机的定位系统主要由磁头驱动电机、执行机构、控制电路和检测器件等几部分组成。其基本功能就是将磁头迅速、准确地定位于指定的磁道中心位置上。评价定位系统的主要的指标就是定位速度和定位精度。

随着微型计算机系统的发展，要求外存容量越来越大。因此，在不断提高磁盘位密度的同时，希望在有限的盘片上有尽可能高的道密度，以增大存储容量。但是道密度越高，相邻磁道间的干扰越大。特别是在高记录密度情况下，磁头略微偏离磁道中心位置，便会使噪声增加、读出幅度降低，影响正确读写，所以说定位精度是影响道密度的重要因素。另外，为了提高主机利用率，希望访问磁盘机的时间尽可能短，即要求磁盘机在收到找道命令后，磁头能以尽快的速度移动到目标磁道中心位置上。找道时间除了磁头移动时间外，还包括磁头到达目标磁道后的稳定时间。所以，尽管磁头移动速度很快，但是在到达目标磁道后，磁头仍不能稳定下来，或者说，在目标磁道中心位置附近出现长时间振荡或稳定刚度不移，这不但会影响找道速度的提高，还将影响定位精度的提高。为了达到快速、准确地定位，人们不断地改进、完善定位控制系统的性能。

磁盘机的找道工作受到主机的控制。小型磁盘机考虑到接口的简单化，一般用二条命令线来控制磁盘的找道操作。其中一条是“步进”命令线。如欲找道，便在这条线上发一连串的步脉冲，步脉冲的个数表示需要寻找的磁道数；步脉冲的周期代表了步进速率。另一条是“方向”命令线，利用该线的高、低两种电平信号，控制磁头前进或后退方向。对于接收到的步脉冲信号，软盘机与硬盘机采取的处理方式有所不同。软盘机接到“步进”信号后，使直接以接收到的步脉冲的速率控制磁头找道。换句话说，磁头找道完全受到主机的控制。在操作系统软盘机的驱动程序里，一般放有一些控制软盘找道的模块，可根据道差不同，自动调整发送给软盘机的步脉冲的速率，以期达到快速定位。硬盘机一般都带有单片机，如果说软盘机的定位直接受到主机控制的话，那么硬盘机的定位则只受到主机的间接控制，磁头定位直接受单片机的管理和操纵。硬盘机中的单片机不断访问“步进”和“方向”命令线，并将这两个信号接收下来，以备控制定位使用。硬盘机一般都有常规和缓冲两种寻找方式。如果输入的步脉冲的速率较慢，则采用常规寻找方式，即磁盘每接收到一个步脉冲，单片机便控制磁头移动一步。如果输入的步脉冲的速率较快，则采用缓冲寻找方式，单片机首先对输入的步脉冲进行计数，再按输入的步脉冲数——道差数不同，取相应的快速找道模块，控制磁头移动。具有缓冲寻找功能的磁盘机，可节省主机的等待时间。因为磁盘机的定位是机械运动，它最快只能控制在毫秒级水平，而主机发给磁盘机的步脉冲可以是微秒级水平，利用缓冲寻找方式，可以解决这两者之间不适应的矛盾。主机以微秒级的速度快速发完步脉冲信号，随后去执行其它工作，直到定位完成后，再来管理磁盘机的工作。最后要说明的是，采用“步进”命令作找道命令，不仅适于采用步进电机的磁盘机，同样也适于采用音圈电机的磁盘机。

对小型磁盘机定位系统的基本要求为：

(1) 初始定位　主机加电或磁盘机接到“复位”命令后，磁头将退到初始基准位置，即零道位置。

(2) 接到找道命令后，能准确、迅速地将磁头移动到指定磁道，并且磁头能稳定地定于目标磁盘的中心位置上。

(3) 定位精度可以用定位误差值来衡量。磁盘机的定位误差是指磁盘机执行寻找操作时，磁头实际位置与目标磁通中心位置之间可能存在的最大差值。道密度越高，要求定位误差越小。如果磁头偏离道中心距离过大，会造成读写错误。一般将定位误差限制在磁道间距的±5%以内。当然，定位精度还与读写系统、磁盘热特性等指标有关。

(4) 平均找道时间　平均找道时间是衡量定位系统性能的一项重要指标，它取磁头最小找道时间与最大找道时间的统计平均值。缩短找道时间，会增加产品的制造费用，因此必须根据系统的实际需要来合理地选择该项指际。

磁盘机中，磁头驱动电机主要采用步进电机和音圈电机。步进电机转动的最小计量单位为步距角，用“度”表示。步进电机的步距角误差是决定磁头定位误差的主要因素。现在有些硬盘机上采用了微步控制技术，它可调整步距角误差。音圈电机的位移是一个连继可调量，利用它可方便地实现定位偏差的微调整；此外，音圈电机力矩大、速度快，定位刚度强，但是音圈电机造价高，故一般在10～20MB硬盘和大多数的软盘机中都选用步进电机作定位驱动电机。磁盘定位的执行机构由传动部件、磁头移动支架等构

件组成。它的功能是将电机的运动传递给磁头，使磁头在盘片上作径向运动。磁头移动支架是指用来安装磁头并带动磁头移动的那部分机构，按照它运动方式不同，可分为直线和转臂两种类型。直线机构使磁头沿盘片半经方向作直线运动，而转臂机构是取一点为中心，带动磁头沿弧线移动。软盘机一般采用直线机构；硬盘机上，这两种机构都有使用。电机的传动部件，主要采用钢带或齿轮齿条等传动方式。但在有些磁盘机中，直接将移动支架安装在音圈电机的音圈上省却了中间传动环节，减少了阻尼，提高了定位系统的动态响应。在一些磁盘机中还带有检测部件，用它们来检测磁头的移动速度和磁头移动的位置，前者称作速度检测器，后者称作位置检测器。速度检测器的种类很多，可以采用感性式检测器，也可以采用其它方式的检测器。位置检测器采用的种类也很多，有采用光学方式的，也有采用伺服盘位置检测器。以上介绍的这些部件在整个定位系统中都可被等效为一些控制环节，这些环节加上控制电路便构成了完整的定位系统。依照不同的控制要求，控制电路的复杂程度也不相同。

二、三种定位控制方式

快速定位系统的工作过程一般分为二段，首先以最快的速度使磁头由现行磁道移动到目标磁道位置上。在磁头移动过程中，利用速度检测器反馈回来的速度信号，定位系统不断地修正磁头移动的速度，这个控制过程称作速度控制，简称粗控。当磁头已移到目标磁道上，但还没有达到磁道中心位置时，根据反馈来的位置信号，控制磁头定位于磁道中心位置上，将此控制过程称作位置控制，简称精控。定位系统的框图见图 2-9 所示。利用检测到的速度和位置信号，反馈给定位系统，使定位系统再根据反馈信号调整现行工作状态。控制→移动→反馈→再控制，使整个系统构成了一个闭合回路。在磁盘机中，将这种伺服定位系统称作闭环系统。考虑到系统的性能价格比，在一些磁盘机中没有安装检测器，没有反馈信号供系统调节或修正定位速度和定位误差，这种定位系统称作开环系统。如果仅仅部分采用闭环控制，例如位置控制用闭环，而速度控制仍采用开环控制，将这种控制系统称作半闭环系统。这三种控制方式在小型磁盘机中都有使用。以下分别讨论这三种控制系统的功能、框图及原理。

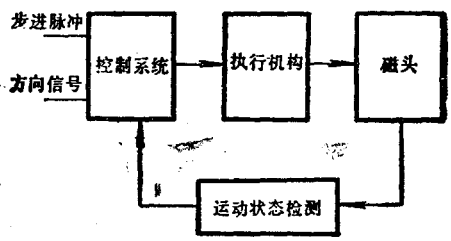


图2-9　定位系统的框图

1. 开环定位控制方式

开环系统的最大优点是控制系统结构简单。随着部件，如步进电机等制造技术的不断提高，这种控制系统也能达到较高的定位精度和较快的定位速度，因此，在软盘机和一些小容量的硬盘机中几乎全部采用这种定位控制方式。

图2-10 是开环系统的原理框图。在开环系统中，一般都是采用步进电机作定位驱动电机。微计算机通过接口向磁盘机发出“步进”和“方向”信号。再由磁盘机中的转换电路将它转化为步进电机的驱动信号。步进电机每转一个角度便通过执行机构带动磁头移动一道。电机的转动方向决定了磁头的转动方向。

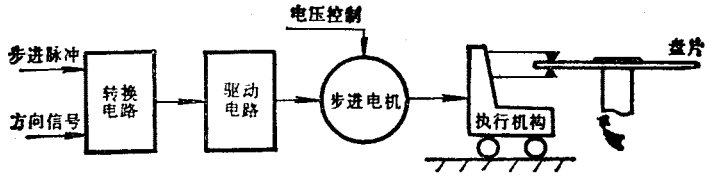


图2-10　开环系统的原理框图

这里先对步进电机的工作原理作一简单复习。步进电机是一种把电脉冲信号转换为角位移的执行元件。步进电机的定子上嵌有多相绕组，并将这些定子磁极开出许多小齿，转子上也开有许多相同齿距的小齿。当定子上各相绕组依次通电时，在定子磁场的作用下，转子便旋转，并在定、转子小齿对齐即最大磁导位置上稳定下来。定子上可以绕三相绕组，也可以绕四相绕组。如果是 A、B、C 三相步进电机，每次取一相绕组通电，这种工作方式称作三相单三拍方式。如果按 A→B→C→A…… 相循环导通时，电机正转；那末按 C→B→A→C…… 相依次导通时，电机反转。如果三相电机每次二相导通，即 AB→BC→CA→AB……，这种工作方式称作三相双三拍运行。此外，还可以做成三相六拍工作方式。拍数越多，转动的步距角越小。如三相三拍运行时，电机每相转 1.8 度。那么以三相六拍工作时，每次则转 0.9 度。当然电机工作拍数越多，其控制电路也越复杂，步距精度也不一定能得到保证。

转换电路的功能就是将磁盘接口送来的“步进”和“方向”信号转换为步进电机的控制信号，去控制电机转动。可以利用循环计数器实现这种转换。现在来看一下如何实现对步进电机的控制。以三相步电机为例，如果某一相绕组通电时，取其输入状态为“1”电平，其余相为“0”电平，那么三相双拍电机完成一次循环的三种控制状态分别可表示为“110”“011”、“101”。三相步进电机需要有三条输入控制线，而接口送给磁盘机的只有一条“步进”信号线，另一条是“方向”信号线，故无法直接用它对需要三根输入控制线的三相步进电机实现控制。所以，在这种控制电路中，仅仅利用接口的“步进”信号作为计数或时钟信号去触发循环计数器。这只循环计数器可以循环地送出三种控制状态去控制步进电机的转动。利用接口送来的“方向”信号控制该循环计数器的循环方向，以便控制步进电机的转动方向。

目前，在硬盘机中利用单片机代替转换电路实现对步进电机的控制。这种控制电路比采用循环计数器灵活得多。它可以根据收到的步进脉冲数，即移动的磁道数，计算出目标磁道与现行磁道之间的道差，再根据道差数调用单片机中的步进电机驱动子模块，控制步进电机的转动。可以根据道差分别调用相应的驱动模块实现快速的定位控制。

步进电机的起动及运行频率与加给它的工作电压有关。为了提高步进电机的频率响应，在一些磁盘机的定位系统中还设有一条电压控制线，它可控制加在步进电机上的电压值。当需要步电机转动时，向步进电机加一个高电压，找道完成后，再用低电压对步进电机供电。采用二种方式供电，可改善步进电机的动态特性，缩短找道时间，并且当电机处于稳定状态时，采用低电压供电，既降低了步进电机功率损耗，又使步进电机处于稳定状态时，保持一定的锁紧电压，提高了定位精度。

末级电路采用功率驱动管以驱动电机工作。除了要求功率管具有足够的功率驱动能力外，还要求其具有较好的抗反压特性。在末级设有泄放电路，保护功率管、使电机正常工作。

开环系统的定位精度主要由步进电机的步距精度决定，一般来说，步进电机的精度要做得很高是比较困难的。另一方面，开环系统的道密度主要由步进电机的步距角所决定，要想把步距角做得很小，同时又必须保证一定的步距精度，那就更困难了。所以，采用步进电机开环系统的磁盘机，其道密度一般都不能做得很高。要想继续提高道密度，需要采用其它控制方式。另外，步进电机的速度比较低，因而影响磁盘机找道速度的提高。所以步进电机开环系统，一般都用在找道速度比较低，道密度不太高的磁盘机中。由于其控制电路简单，成本低，所以它受到了人们的重视并得到了广泛的应用。

2．闭环定位控制方式

闭环系统主要用于道密度高，找道速度快的磁盘机中，驱动电机一般采用音圈电机。闭环系统的形式很多，但其基本工作原理并没有很大差别。图2-11是这种控制系统的框图。

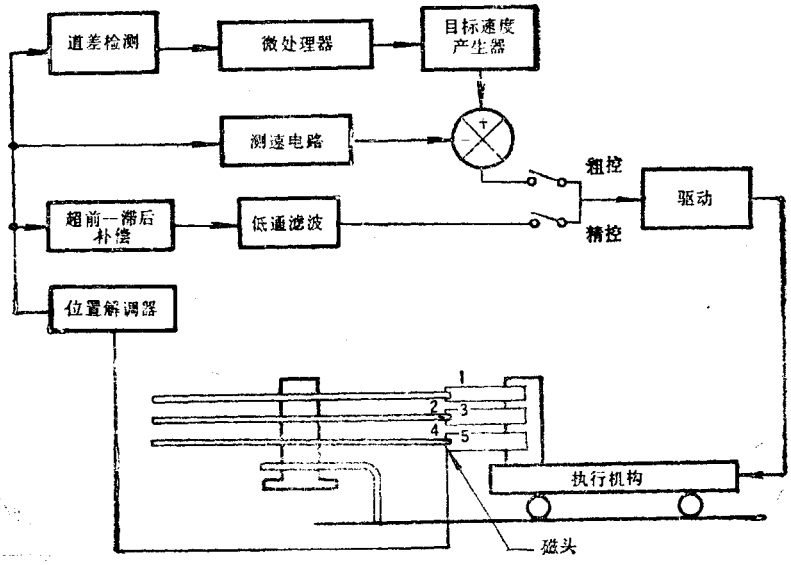
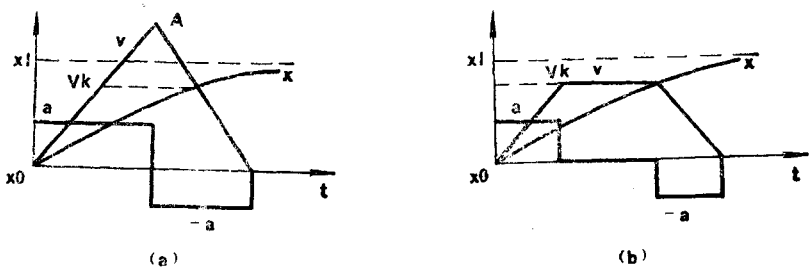


图2-11　闭环系统的原理框图

闭环系统采用双重控制方式，即速度控制和位置控制。可以用电子开关来切换这两种控制方式，即当道差大于零时，采用速度控制、否则采用位置控制。以下分别讨论这两种控制方式。

(1) 速度控制方式　速度控制的目的就是使磁头以最快的速度定于目标磁道位置上。要想让磁头以最快的速度移动到目标磁道位置上，必须按照一定的速度变化规律来控制磁头的运动，从实现最快移动的意义上讲，这种速度变化规律体现了最优速度控制思想。速度变化与道差有关，也就是说，速度变化可以用道差的函数来表示。速度控制的过程，就是根据反馈的速度信号，不断调节电机按已确定的最佳的速度函数运动。

若要求磁头在最短的时间内从某个磁道 X_0 移动到另一个磁道 X_1，首先应让磁头以最大的加速度启动，使磁头速度直线上升，磁头位移X也以抛物线规律变化。当磁头位移量 X 到达中途某点 A 时，则控制信号反向切换，系统以最大负加速度制动，使磁头运动速度直线下降，让磁头在最短的时间内达到目标磁道 X_1，如图2-12(a)所示。由于各种因素的限制，实际上磁头运动速度不能超过某一限制 Vk，因此整个控制过程被分成三部分——加速、匀速、减速，其变化过程见图 2-12(b)



(a) 最佳调节过程　　(b) 运动受限时最佳调节过程

图2-12 速度控制曲线

为了按最优速度曲线进行控制，在电机开始启动时，我们可以向音圈电机加一最大阶跃电流 I_{max}，使电机以最大加速度启动。可以推导出在向音圈电机加上最大电流 I_{max} 时，速度 V 与位移 X 的关系曲线是一个抛物线，如下式所示的

$$V^2 = kX$$

式中 k——音圈电机参数。

这条曲线也就是采用电流控制方式的音圈电机的最佳合闸曲线，见图 2-13。这条曲线实际分为二段："AB"为加速部分，它采用开关驱动方式，即用开关控制音圈电机的阶跃电流 I_{max}。"BO"段为减速部分，它采用线性驱动方法。减速部分必须按"BO"段轨迹，实行最佳速度控制。

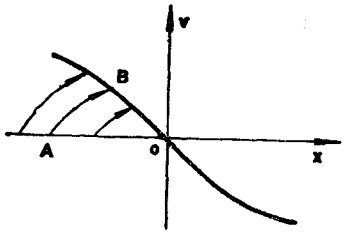


图2-13 最佳合闸曲线

由图 2-11 可见，粗控时，根据道差确定基准速度控制信号送相加器，然后根据速度传感器送来的速度信号，在相加器中与基准信号比较，如速度不符则相加器输出误差控制信号，控制音圈电机的速度。

(2) 位置控制　当道差小于1时，进入位置控制。根据位置信号的大小和极性，控制音圈电机的精定位。使磁头朝着磁道中心移动，最后将磁头锁定在磁道中心位置上。如果有偏差，位置信号反映出磁头偏离的方向和位置大小，并将它送入控制回路，以控制音圈电机带动磁头作微调节，使磁头能一直锁定在目标磁道的中心位置，最终实现"定中心"控制。

3. 半闭环定位控制方式

有些磁盘机仅采用单重伺服控制，即位置伺服定位控制，称这种系统为半闭环定

位控制系统。在一些半闭环定位控制系统中，使用步进电机作磁头驱动电机，采用索引伺服信号检测位置信号，并设有伺服信号解码电路，用来对磁道位置进行检测。图2-14是这种控制系统的框图。

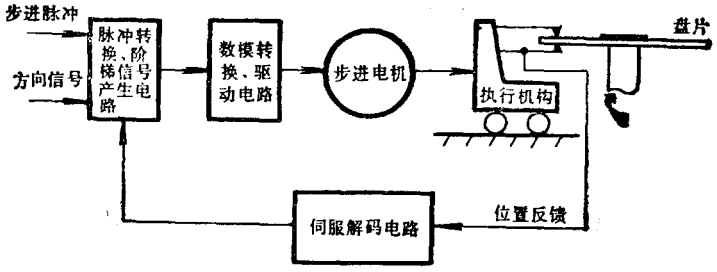


图2-14　半闭环定位控制系统的原理框图

半闭定位环控制系统一般用于道密度比较高、但对存取速度要求不太高的硬盘机中。采用步进电机的开环系统，由于其定位精度主要受到步进电机的步距精度的限制，所以道密度不能做得很高。但是步进电机开环系统造价低、工艺性好，只要进一步提高步进电机的精度，就可以较方便地提高磁盘记录密度从而增加其存储容量。随着步进电机的制造精度不断提高，为采用步进电机的磁盘机提高道密度创造了条件。要提高道密度，诸如环境等因素的影响，特别是磁道热偏离的问题就比较突出了。既便电机的步距精度很高，但是当盘腔的温度发生变化时，磁头就会偏离磁道中心位置，以致定位失败造成读写出错。利用位置伺服定位控制技术可以很好地解决磁道热偏离以及电机定位精度偏低所带来的问题。

半闭环系统的主要特点是：

① 采用步进电机作定位驱动电机，造价低廉；

② 步进电机具备微步功能；

③ 一般采用索引伺服方式也有采用扇段伺服方式，伺服信号占据较少的磁盘空间。

④ 可利用位置伺服信号作零道检测及内、外保护带信号，节省了硬件。

⑤ 道密度高，热稳定性能好，但磁盘机的找道时间较长。

要利用步进电机实现位置控制，必须对步进电机实行微步控制。也就是说，当定位发生偏差时，必须对步进电机作微步调节。正常情况下，步进电机每收到一个步进脉冲，使转过一个固定的步距角，随后步进电机便处于稳定状态。处于微步控制下的电机，要求电机的转动角度小于其步距角的角度。拿双极性永磁式步进电机来说，见图2-15(a)，只要 A-A′ 和 B-B′ 相线圈所通过的电流相等，转子便处于稳定状态，这时如改变相线圈的励磁电流，使二相线圈的相电流不平衡，转子便偏向一边，见图 2-15(b)。调节励磁电流的大小可改变电机转子的转动角度，即实现微步运动。

要实现微步控制，步进电机的控制电路就要复杂一些了。为了对电流进行微调节，设有阶梯信号产生电路。在正常运转情况下，向电机提供的是平衡的励磁电流，这时电机按固定的步距角转动。如果定位发生偏差，可根据偏差方向和偏差量，改变电路输出

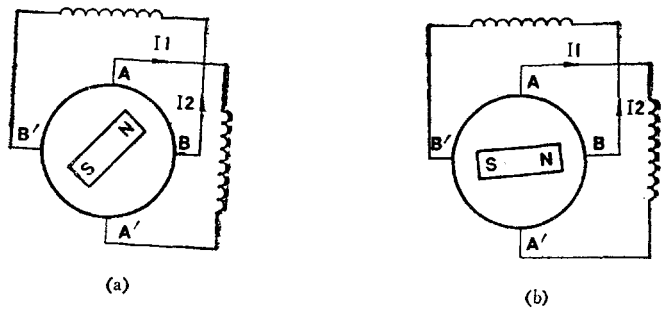


图2-15　步进电机的微步调节原理图

(a) 相电流平衡　　(b) 相电流不平衡

的阶梯电流，使电机作微步调整。可以利用单片机产生数字式阶梯信号，再通过数/模转换电路转换为电机的励磁电流。

从磁盘机索引伺服区上，可以检测出磁盘机的位置信号。所谓索引伺服区，就是在某一专门的盘面上开辟一块区域来记录伺服信息，一般将该伺服区域放在索引位置的前面，见图2-16。在该伺服区上记录了专门的信息——伺服信息，供检测使用。利用磁头可读出这些伺服信号。当磁道位置发生偏移时，所读出的伺服信息与磁头处于中心位置时所读出的信息不一样，利用伺服解码电路，便可解得标志磁道偏移的位置信号供控制使用。由于伺服信号直接记录在盘片上，它能反映出数据磁道相对磁头的偏离情况，显然这种伺服方式热补偿性能好。它没有占用专门的伺服面记录伺服信号，所以它占用的盘空间较少。采用这种伺服记录方式时，索引伺服区占用了磁道中一部分区域，为使数据传输率保持不变，把磁盘转速略微降低一些，使用户感觉不到磁道上记有伺服信息。

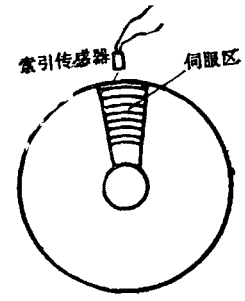


图2-16　索引伺服区

综上所述，半闭环定位控制系统的工作过程是：当磁道偏离道中心时，通过伺服信息区提供位置信息，送解码电路，解得磁道偏离的量值；单片机检测到偏离量值便产生阶梯信号，经数/模转换器产生不平衡的励磁电流，从而使步进电机作微步移动，直至磁头定于磁道中心位置。

半闭环系统虽然具有位置伺服控制能力，但它毕竟采用的是工作速度较慢的步进电机，又没有速度控制能力，所以找道速度比较慢。加之采用索引伺服方式，磁盘每转一周才能检读一次位置信号。如果在伺服区信息通过磁头下方期间，磁头不能及时完成伺服跟踪，势必需要等磁盘再转一圈，以便再次取得下一伺服信号供伺服跟踪使用，因此延长了伺服等待时间，使得磁盘机找道速度变慢。由此可见这种定位控制系统只适合于对速度要求不高的磁盘机使用。

第三节　主轴驱动系统

磁盘机中驱动盘片旋转的装置称为主轴驱动系统，简称主轴系统。主轴系统由三部份组成：主轴驱动电机，主轴部件及稳速系统。主轴系统的基本功能是：以额定的转速驱动盘片稳定地旋转，使磁头相对于磁道有一个稳定的切向速度，保证磁头正确地读写数据。下面简要介绍主轴部件及稳速系统

一、主轴部件

对软盘机的主轴部件的要求是：软盘片插入软盘机或自软盘机取出时要灵活，并能正确定位于主轴中心，以确保软盘片在不同的软盘机之间使用，有良好的互换性。它主要有盘片托盘、盘片导向、夹紧及弹射等机构组成。托盘直接与转轴压成一体，盘片放在托盘上，在关闭软盘机门时，利用与门连动的夹紧机构将盘片压紧，使盘片跟随主轴旋转。压紧轮一般用塑料制成，其前部呈锥形，要求定中心准确，但不会损伤盘片中心孔。

硬盘机的盘片被固定装在HDA密封腔体内，不需要更换，对主轴部件的要求是：结构简单、质轻且刚度强。主要由轮毂、隔圈和压板组成。轮毂直接压在电机的转轴上，盘片紧固在轮毂上。盘片间用隔圈保持间隔。有的硬盘机的轮毂带有风翼，电机旋转时，加速盘腔体内的空气流动。轮毂和隔圈等主轴部件，一般采用铝合金制成。

二、稳速系统

一般来说，软盘机的稳速系统工作比较简单。因它的磁头和盘片是接触式工作的，转速较硬盘机低一个数量级，稳速程度也比硬盘机要求低。电机被启动后，可迅速达到规定的转速。有的软盘机主轴电机上贴有转速表，供调整转速使用。

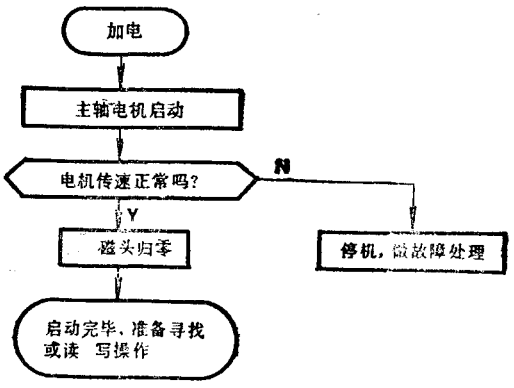


图2-17　硬盘机的启动工作过程

硬盘机的稳速系统工作比较复杂。由于硬盘机采用接触启停工作方式，加电后，磁头依靠盘腔内盘片旋转时产生的气流自动浮离盘面，如在规定时间内，转速还达不到规定要求，使头盘间浮动间隙失控，将导致读写出错，严重时，会擦伤头和盘片。因此，硬盘机对稳速要求比软盘机高。转速误差至少要求小于0.5%，甚至要求在±0.1%以内。图2-17是硬盘机的启动过程的一般工作流程，以图2-17可大致了解硬盘机的主轴系统加电后的启动工作过程。

要求盘片转速达到上述那么高的稳定精度，光靠电机本身的旋转稳定性是难以保证的。一般，都采用速度伺服控制来达到磁盘机要精度的稳速要求。

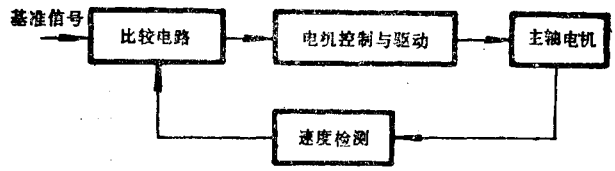


图2-18　稳速系统框图

图2-18是稳速系统框图。由图可知，从电机内部取得与转速成比例关系的速度信号，通过电路转换成电机的转速控制量，去调节电机的转速，使其保持在一定的范围内。速度反馈→控制→速度反馈……，由此构成电机转速控制的闭合回路。

硬盘机的记录密度高，电机转速高，要求稳速精度高，一般的稳速系统达不到这么高的要求，故大多采用稳速精度高的锁相伺服控制技术。锁相稳速系统的稳定性，主要取决于输入基准信号的稳定度。根据输入信号是模拟量还是数字量，锁相电路可分为模拟鉴相和数字鉴相两种类型。模拟锁相电路一般采用RC电路产生基准信号；数字锁相电路一般取晶振产生的数字化信号作为基准信号。阻容器件误差大，温度特性差；而晶体振荡器的稳定度较高，不易受环境变化的影响。所以数字鉴相电路应用较广泛。除这两种锁相控制方式外，目前，在一些硬盘机甚至在软盘机中，还利用单片机代替分立元件进行主轴电机的锁相控制。其优点是：所用元器件少，成本低，稳速精度也可做得较高。在低档容量硬盘机中，较普遍使用单片机进行锁相伺服控制。图2-19是分立元件和单片机组成的两种锁相控制的稳速系统框图。

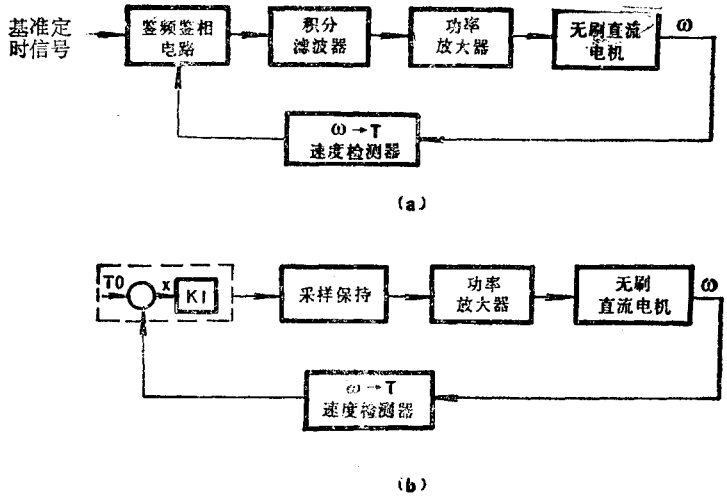


图2-19　锁相稳速系统框图

(a) 分立元件锁相电路　　(b) 微机控制的锁相电路

无刷直流电机内部装有霍尔、光电器件或测速器。当电机旋转时，磁场方向或光源信号不断变化，利用它们可输出反映电机瞬时转速的反馈信号T(见图2-19a)送入鉴别电

路，它与基准信号作比较后，得到相位差信号，反映转速误差。然后经过积分滤波器，将相位差信号转换成与速度误差成比例的直流偏压去控制电机转速。积分滤波器还有电路稳定校正作用，以确保环路的工作稳定性。最后由功率电路驱动电机工作。图2-19(b)中，单片机收到电机送来的信号T，将它与预先设置好的标准转速信号T_0进行比较。T与T_0的差值表示速度误差与所需的纠偏量。当电机转速偏低时，反馈信号T变宽；反之T变窄。单片机根据T与T_0的差值，送出调速信号Y。改变Y的周期与脉冲宽度，即可控制电机线圈通电时间的长短，实现对转速的调整。

稳速系统的被控对象——电机是感性元件，在稳速控制过程中，电机线圈轮流导通，使末级功率管承受较大的反向电压。故要求末级功率管有一定的功率余量，抗反压性能良好；并装有二极管、电容等元件组成的泄放电路，保护功率管不被击穿，防止电机遭受损坏。

第三章　磁盘机技术的发展

外存储器是计算机系统中不可缺少的组成部分。随着计算机系统的软、硬件技术不断进步和计算机应用不断向广度、深度进军，它在系统中的地位和作用，日益重要和显著。磁表面存储装置一直是计算机的主要外存设备。其中磁鼓和磁带机同计算机一起，于50年代初就进入实用阶段。尽管第一台磁盘机 IBM-350，于 1956年由 IBM 公司宣布问世，因采用以盘面吹入压缩空气的静压型磁头起浮结构，盘片太大（为 24 英寸）且太多（为50片），定位机构过于复杂，使平均找道时间长达 600ms，没能实用化。直至60年代，研制成功了借助盘片自旋产生的气流浮起磁头的动压型的浮动结构以后，磁盘技术才得到迅速发展，产品才真正进入实用化阶段。从50年代初至60年代前五年，磁鼓和磁带机是这个时期的主要外存设备。甚至在小型计算机中，因磁鼓的存取时间短，还充当内存。例如，苏联的 M-3 型电子管小型计算机，曾用磁鼓作内存。又如在 50 年代后五年内，美国的 LGP-30 小型计算机用磁鼓作运算器中的动态寄存器。从60年代动压型磁盘机问世后，特别是1966年 IBM-2314 磁盘机转入实用后，至70年代，由于磁鼓性能的提高，受到种种限制，除少数要求外存的存取速度快的场合，把磁鼓作为性能与每道一个磁头的固定式磁盘机相同的外存设备使用外，已逐步被磁盘机取代之。数字磁带机与磁盘机相比，有更悠久的历史，尽管自60年代后五年开始，它作为主要外存设备的地位已逐步被磁盘机取代，但由于它具有容量大，可脱机存储，保管运输方便，成本低等优点，自 70 年代后五年起，已逐步转移为磁盘机的后备存储器，其技术仍有相应的发展。近年来投向市场的数据流磁带机更是磁盘机的理想后备存储器。因此从1966年至今的二十年里磁盘存储器在从微型到巨型的各类计算机中始终很稳固占据着主要外存的地位，无论从其造价在计算机系统中所占的比重，还是从对系统运行效率、增强功能的影响来看，磁盘机的重要地位和巨大作用，是毋庸置疑的。

回顾三十年来的磁盘技术的发展历史，它是一部高密度、大容量、小型化、快速度、高可靠和低成本的发展史。高密度技术不但是增大存储容量的基础，也是磁盘机的小型化、快速度和力求低成本的重要手段之一。因此，高（密度）、大（容量）、小（型化）、快（速度）、低（成本）五者相互关联，而以高密度技术为主导。这是磁盘技术在三十年里，最根本的努力方向。从目前对磁盘机所掌握的制造工艺的成熟性和好的性能价格比等优点，以及磁盘技术还有较大潜力这几个方面去看，在今后一定时期内尚无其它技术（例如光盘、磁泡等）的产品能轻易取代它，动摇它在外存的主要地位。预计，在今后五至十年，磁盘机仍将是计算机的主要外存储设备。

第一节　硬盘机

IBM 公司始终在磁盘技术领域里居领先和统治地位，因此我们以 IBM 的产品发展

为主线，回顾硬盘技术的发展历史。

自1956年以来，磁盘技术经过将近十年的初始阶段，于1966年至今，已从第一代跨入第四代。IBM-2314，3330，3340和3350，3370和3380，分别是这四代技术的代表产品。

硬盘机的存储容量是盘数据面(以下简称盘面)，每面磁道数，每道字节数三者之乘积。每道字节数是位密度和内磁道圆周长之乘积。每盘面的磁道数是道密度与盘面记录区径向宽度之乘积。位密度和道密度之乘积称面密度。在面密度不变的情况下，只有增加盘片直径(即加宽记录区宽度和加长内磁道圆周长)和盘面数，才能增大容量。在盘径不变的情况下，只有提高面密度，加宽记录区宽度，增加盘面数，才能增加容量。电子产品发展产品的总趋势是小型化和微型化，故采取后一种办法增大容量是人们普遍的努力方向。三十年来，位密度从100BPI提高到30752BPI，为300倍；道密度从20TPI提高到1800TPI，为90倍；平均找道时间从600ms降至16ms，约为35倍。面密度几乎每隔二年翻一番。

位密度的提高与以下诸因素有关：盘片磁介质的磁性能、厚度和其均匀性，头盘间浮动间隙，磁头前间隙和其工作频率，编码方式等。道密度与道宽及道间距有关。道宽与磁头的磁芯厚度有关，而道间距与磁头定位精度有关。

头盘间浮动间隙是一个与提高位密度十分有关的重要因素。第一台IBM-350磁盘机和以后的IBM-1405均采用静压型浮动结构，浮动间隙较大，分别为20μm和16.5μm。1962年推出的IBM-1301和以后相继问世的IBM-1311，2314，2311，3330，均采用大的磁头加载力的动压型浮动结构，经不断改进，浮动间隙逐步减小。1964年推出的IBM-2311，浮动间隙为3.2μm；1966年推出的IBM-2314，采用有两个调节浮力的圆形泄流孔的浮动块，间隙被减至2.2μm。1971年问世的IBM-3330，把圆形浮动块改为矩形浮动块，浮动间隙又被减至1.27μm。

在保持一定的磁介质的磁性能及保证一定的读出信号幅度的前提下，减薄磁介质厚度是提高位密度的有效方法。自1956年IBM-350问世以来，一直以涂布微粒铁氧体作为主要磁介质使用的。经三十年不断改进和技术的积累，具有工艺成熟，批量生产和低成本等优点，目前，仍保持着主流的地位。第一台磁盘机涂布介质的厚度为30μm；62年的IBM-1301被减至13～14μm；1964年的IBM-2311又减薄至6.3μm；66年的2314进一步被减至2μm；到了1971年，IBM-3330的氧化铁涂布介质的厚度只有1.27μm。

随着头盘间浮动间隙不断减小，磁头前间隙成为影响提高位密度的重要因素之一。随着磁头粘接工艺的改进，从环氧树脂胶结改为玻璃熔接，前间隙已从第一台IBM350的25μm，减至IBM-1311的6.3μm，2314的2.7μm，3330的2.5μm。

头盘间浮动间隙、磁介质厚度和磁头前间隙经1956年至1966年这十年里的不断减小后，使硬盘机的位密从最初的100BPI提高4040BPI。十年时间，提高了40倍。

定位机构是一个驱动磁头沿盘面径向移动的传动机构。如能做到在保证具有一定的相对定位精度的前提下，磁头在盘面沿径向移动每走一道的间距越小，则道密度越高。一般，取定位误差为道间距的±5%。随着道间距不断减小，定位的绝对值也不断被减小。所以，通常所说定位精度的提高是指绝对定位精度的提高。因此，当要求道间距减小时，定位精度将是限制提高道密度的主要因素。第一台IBM-350，采用机械定位

结构。IBM-1301和1311改用液压定位机构，定位精度得到一定的提高。IBM-23和2314又改用步进电机定位机构，定位误差被减小至25μm。六十年代出现以位置传感（光栅，同步感应器及电容式传感）检测装置作为反馈元件的音圈电机闭环控制定位技术，做到定位误差在25μm以下，已不成问题。但这种定位机构，盘片与安装位置检测装置和磁头取数臂的底座，两者的热膨胀系数的不同而产生的误差，最大可达±13μm。尽管，有的产品采取了各种温度补偿的措施，使道密度达到200TPI，但要再进一步提高定位精度，就有困难了。1971年出现了用伺服盘面作位置传感检测装置的音圈电机闭环控制定位技术，克服了上述不足之处，使定位误差从25μm减至12.5μm。作为第二代技术的代表产品IBM-3330，伺服面伺服技术是它的一个重要标志。

读出信号幅度与道宽（即磁化宽度）和盘片相对磁头移动的速度之乘积成正比。当其它参数相同时，而要求读出信号幅度不变的条件下，速度越高，道宽越可减小。因此，为了减小道宽以提高道密度，盘片自旋的转速，从第一台IBM-350的1200rpm提高到1301的1800rpm，2314的2400rpm，3330的3600rpm。目前，绝大多数的硬磁盘机，其主轴转速都在3600rpm左右。道宽可通过减薄磁头磁芯厚度来减小。从最初的1.25mm减薄至2314的0.175mm，3330的0.109mm。

定位机构和其控制方式的改进，磁道宽度的不断减小，使道密度从第一台IBM-350到IBM-3330的十年里，约提高了10倍，即从20TPI提高到192TPI。74年问世的IBM-3330Ⅱ，道密度在3330Ⅰ的基础上又翻了一番为390TPI。

70年代初推出的可换盘组磁盘机，存储容量已达200MB。然而由于以下两个原因，可换盘组磁盘机的容量，要在200MB基础上再提高，困难重重。

（1）为了保证可换盘组的互换性，在保证各可换盘组磁盘机之间磁头位置的静态公差符合要求范围的同时，各种原因（主轴和其轴承，磁头小车的轴承）产生的偏摆以及热效应和振动等引起的动态误差，也必须在要求范围内。为了对静态、动态公差的要求，不致太苛刻，有必要在道密度方面，留有一定余地。这就限制了道密度的进一步提高。

（2）当更换盘片时，磁盘机被暴露在非净化空气的环境中，盘腔内的洁净度受到破坏。虽然在磁头加载前，用正压净化空气去除盘腔内的尘埃，但仍不易排除干净。特别是小于0.5μm的尘埃还能侵入盘腔，通过0.5～1μm的浮动间隙。在磁头加载的瞬间所产生的相撞时尘埃可能撞粘在盘面上，形成凸点并越积越大，造成信息丢失或损伤磁头和盘面。在这种情况下，如采取强制减小浮动间隙的办法，虽能提高位密度，增大存储容量，但却牺牲了可靠性。这是被实践证明了的事实。我国前几年曾进口数量不少的一种美国某大公司的盒式硬磁盘机，容量较大，浮动间隙为0.5至0.8μm。磁头、盘片被划伤者不少。另外，盘片在盘腔内旋转时，由于离心力的作用，空气流在盘片四周形成高压而在主轴附近形成低压区。这个低压区就有可能吸入少量密封主轴轴承的润滑脂。吸入后，成雾化状态的尘埃，堆积而形成固定的凸点，也使读出出错或损伤磁头和盘片。

以上两点是限制磁盘机进一步提高位密度和道密度的主要障碍，并且也是影响可靠性的重要因素。尤其是第2点常常是磁盘机不能正常工作的重要原因。

针对以上问题，1973年出现了所谓“温彻斯特”技术。把磁头、盘片以及装磁头的小车，装在一个密封罩壳内成为一个整体。与可换盘组一样，可以整体更换。这样做有

两个好处：第一，盘片和磁头的关系被固定了，伺服头和数据头之间的相对位置也不会变。这样，就用不着对磁头作径向和偏斜的调整，大大放宽了上述的各种公差和偏摆的要求，有利于定位精度的提高和道密度的提高。第二，磁头和盘片被密封起来，外界尘埃较难侵入盘腔，这就给进一步减小浮动间隙创造了条件。

既然把磁头密封起来，也就是说不能象以前的磁盘机那样，当磁头不工作时就退出盘面。如果还采用升降式加载结构，密封的盘腔内部机构就十分复杂。因此必须对磁头浮动机构作较大的改进。以大加载力的升降式机构改为小加载力的启停接触式的结构。磁头浮动块改成容易加工的"三轨式"浮动块，改曲面形浮动面为斜楔形或平面形浮动面；加载力从原来的350克降至10克左右。浮动块连磁头的重量仅几克。因加载力小，起停时，即使磁头不退出盘面，短时间的头盘接触，如有盘片表面保护层的保护，还不致使磁头和盘片两者受损伤。这样，1973年问世的第一代温彻斯特磁盘IBM-3340，其浮动间隙被减小至0.5μm以下（0.46μm），为进一步提高位密度创造了条件。

磁微粒铁氧体涂布介质是一种含有粘合剂的混合体。填充在磁微粒间的非磁性材料会减小剩磁强度，因此当磁层越薄时，磁微粒也不断地减少，大大减小读出信号幅度，到达不可容许的地步。另外，磁层太薄时，由于涂布磁层的研磨工序的加工精度和铝合金基片表面精度以及针孔增多等问题，会导致错误增多，并且还会使磁层较脆、易碎、易划伤。虽然可以通过提高磁微粒含有比，以增大Br，从而减薄磁层厚度，但这样做会影响磁层的均匀性和机械强度。在铁氧体介质中掺入少量例如钴这类材料，磁性能会有所提高，Hc可增大至500至600Oe。仔细控制掺钴量，在磁层较薄时，还会有一定的读出信号幅度和较高的分辨率。目前，大多数的涂布介质均采用掺钴技术。例如，NEC7761磁盘机，采用掺钴铁氧体涂布介质，磁层为0.6μm，位密度达15300BPI。涂布时对磁微粒的定向排列也会增大Br。IBM-3340和3340以后的介质都采用定向排列的涂布铁氧体磁介质，磁层厚度逐步减薄。3340，3350和3370的磁层厚度均减至1微米，3380被减薄至0.6μm。富士通于1983年出售的F6425型10.5英寸磁盘机，采用高矫顽力磁粉定向排列和掺钴技术的磁介质，厚度仅0.3μm，结合采用2,7码，在浮动间隙为0.2μm的情况下，位密度达24420BPI。

3340的数据交换盘组并不是全密封的。1976年IBM公司又推出全密封的IBM-3350磁盘机。不仅把盘片、磁头和磁头小车，而且还把音圈电机的音圈部分都密封成一个固定式的头盘组合件HDA，浮动间隙又从3340的0.51μm减至0.46μm。3350的磁头前间隙又从3340的1.5μm减至1.2μm。使3340和3350的位密度在磁层厚度被减薄至1微米的情况下，分别为5636BPI和6425BPI。

第一代温彻斯特技术有效地克服了可换盘组磁盘机的定位精度不能进一步提高的障碍。在3340和3350的磁头磁芯厚度被减至74μm和37μm的情况下，道密度分别提高到300TPI和478TPI。面密度分别为1.69MB/英寸^{2}和3.07MB/英寸^2。

为了提高温盘的头盘在起停接触的耐磨性，延长使用寿命，磁介质中须添有一定比例的抗磨剂（或称保护层）和润滑剂。抗磨剂的种类很多，例如碳化硼，氮化硼，碳化钨，碳化硅。还可用氧化铝粉作抗磨剂。过多的氧化铝粉虽可获得耐磨性好的保护层，但会降低信噪比。因此，润滑剂相形显得十分重要。有无润滑剂，对起停的寿命次数很有关系。国外有人曾做过实验，证明在无润滑剂时，只能起停150次；而在有滑润剂

时，起停次数达二万次以上，还未见到磁头和介质有任何损伤。IBM 公司先使用氟代烷基聚醚作润滑剂，后来又采用如三氟化铈，二硫化钼，聚氟化碳等，作为高性能的润滑剂。润滑技术的关键是：润滑剂量过多会导致头和盘片粘附；太少使耐磨性差。两种情况都会损伤磁头和盘片。因此，在尽可能不引起头和盘片粘附的前提下，加入尽量多的润滑剂。把一种易亲水的热塑性塑料树脂加到涂料粘合剂中去，使磁介质吸收更多的润滑剂，而又不致产生头和盘粘附现象。除采取有效的润滑技术增加起停次数，还采取在盘片内外两侧设置起停区和内外保护区。通过有效地控制，确保磁头在加载前，一定在起停区，以此，保护数据区不会无故被磨损。采取以上一些措施后，第一代温盘的平均无故障时间大大超过可换盘组磁盘机。

进一步减小头盘浮动间隙仍然是第一代温盘问世后，提高记录密度的关键。IBM 公司从以下几个方面全面改进磁头和浮动块：继续减轻磁头和浮动块的重量，减小加载力，改善磁头动态低载特性以增强气膜刚性，改善磁头飞行稳定位，特别是改善内圈磁道线速度较低时的磁头飞行稳定性以提高读写信号的稳定性和可靠性，于1979年推出所谓第二代温盘技术——月牙式技术，与先进的2,7码技术相结合，使 IBM 的 3370 的位密级，在 3350 的基础上又翻了一番，为12134BPI 。

早期的磁头例如1311磁盘机，其磁芯用铁镍合金薄片迭制而成，涡流损耗大，频响性能差，只能在 1MHz 以下工作。后来改用镍锌铁氧体磁头并采取玻璃熔接工艺。频响性能得到改善，工作频率达 5MHz。以后，又以热压锰锌铁氧体磁头，取代镍锌铁氧体磁头，提高了读出信号幅度，改善了频响性能，工作频率达10MHz。接别出着，又出现将磁头和浮动块做成一体的镍锌铁氧体整体磁头(3350)和锰锌铁氧体整体型磁头 (5.25 英寸温盘机)。尔后，又出现将锰锌铁氧体磁头镶嵌在陶瓷浮动块里的组合型磁头，因其磁芯壁较陡，大大降低边缘效应，减小道间干扰，道宽可减至10.16μm，道密度可提高到1200TPI。铁氧体磁头的主要弱点是：当工作频率增加时，导磁率要减小，所以工作在10MHz以上时，效率变低，饱和磁通密度变小，向高 Hc 磁介质的记录能力变差；并且因高频工作时，感抗要增大，传输率提不高。于是在八十年代初，出现了第四代磁盘技术的重要标志之一——薄膜磁头技术。薄膜磁头作为提高磁头性能的重要手段早在1965年就有人研究并提出过技术方案。但时隔十四年后，IBM 公司才将其投入实用，用于第四代磁盘机。薄膜磁头因其磁芯薄膜化，故高频工作时，导磁率仍较高，读出信号波形尖锐。饱和磁通密度为铁氧体磁头的二倍，故向高 Hc 介质的记录能力强，工作频率和分辨率均比铁氧体磁头高。磁芯厚度薄(3380减至 26μm；NEC 于1982年宣布的 JS348 磁盘机的薄膜磁头，其磁芯厚度薄至18.5μm)。由于移植集成电路技术，宜于大量生产，并能在缩小尺寸的同时，仍能保证微加工的精度。例如，日本的 N7761 磁盘机的薄膜磁头，其道宽精度达 ±1μm。另外，薄膜磁头的浮动块采用非金属 $Al_2O_3 \cdot TiC$ 硬陶瓷，硬度与兰宝石相同，耐磨性好。气膜刚性为第一代温盘浮动块的三倍。由于月牙技术磁头浮动块革掉了第一代温盘浮动块中的翼板，简化了几何形状，使浮动块的重量仅为第一代温盘浮动块的25%，为 3 克左右。所以浮动间隙得到进一步的减小，使 3370 的浮动间隙减小至0.33μm，3380 减小至 0.3μm 。薄膜化技术，使磁头的前间隙又从3350的 1.2μm 减小至 3380 的0.64μm。使 3370 的位密度在同时减小浮动间隙至 0.33μm的情况下，为 3350的一倍，而3380的位密度，在减小浮动间隙和磁头间隙的同时，又减薄磁介质至 0.63μm

的情况下，达15200BPI。

IBM-3340和3350的定位技术仍采用与3330相同的伺服面伺服闭环控制技术，只是在伺服面上记录的编码花样有所不同而已。3330的伺服面上记录的是双位编码。由于双位编码的时钟信息和伺服信息两者是一样，并且幅度要变化，所以3340把双位伺服编码改成三位伺服编码，同时把时钟信号和伺服信号分开，使时钟信号的幅度，不随伺服磁头的位置改变而变化。然而当提高位密度时，三位伺服编码会使时钟信号变成不对称，故3350又改用改进型双位伺服编码。3370的定位系统，在改进速度检测电路和减速轨迹发生电路的同时，又采用了前馈控制方式，使在不损害定位控制系统的稳定度前提下，实现寻找高速化。前馈控制方式能使定位执行机构的磁头小车在减速时，向音圈电机线圈中非闭环地通入所希望的减速曲线的减速电流，然后对实际速度和理想减速曲线之差加上负反馈，以实现高精度、高速度寻道动作。由于定位技术有了以上的改进，使3370和3380的道密度在磁头磁芯厚度被减薄至33μm和26μm的情况下，提高到635TPI(3370)和760TPI(3380)。

定位机构和控制方式的不断改进，使平均找道时间已从最初的600ms减至3330的30ms，3340的25ms。3370以后采用前馈控制方式和每盘面两个磁头，使3370和3380的平均找道时间又进一步减少至16ms。再想进一步减小平均找道时间，潜力是有限的。

尽量减小头与盘片的接触压力和减少接触起停时间(即尽量使浮动块在线速度较低时就能起飞离开盘片)是进一步增加接触起停次数所希望的。Maxtor公司的EXT-4380温盘机的磁头浮动块采用负压型浮动结构，与正压式浮动结构不同的是：它具有飞行高度与线速度无关，有效加载力(负压产生的吸力和悬簧产生的加载力之和)随线速度增加而增加，气膜刚性与有效加载力成正比的三个特性，故起飞时间短，接触压力小，减小了接触起停时的磨损，延长起停寿命次数，提高了可靠性，并且有良好的支承刚度和飞行稳定性。

关于提高磁盘机的工作可靠性，在前面回顾提高记录密度的进展中，已顺便谈及从以下几个方面作了努力：改善盘腔洁净度，以便最大限度地减少磁头和盘片遭受损害的机会；改进磁介质的保护层和润滑剂的性能，达到增加接触起停次数之目的；提高定位精度和重复定位的能力以确保读写的正确性；改进磁头和浮动块的结构，达到改善飞行稳定性，提高读写的稳定等。现在，再提出从以下几个方面来提高可靠性。

(1) 尽量采用集成度高的集成电路，减小器件数。例如采用单片微处理器执行顺序加电，启动，寻道，定位粗控和精控，在位监督，找道失败控制，校正速度，状态信息取样，不安全因素报警，诊断等操作，以取代更多的集成电路，提高了设备可靠性。又如日本NPL公司在它的3.5英寸温盘机中采用CMOS阵列电路，其TTL电路的数量从原来的半高5.25英寸温盘机的34个减少至10个。还如将部分读写电路合并而制成一片专用的大规模集成电路，力求减少电路器件的数量。

(2) 在电路方面采取一些检测、纠正或消除错误的措施。例如，为消除因脉冲拥挤效应造成读出信号的峰值偏移和幅度衰减，采用余弦均衡电路予以补偿。又如在磁头定位误差过大而引起读出错误时让磁盘机进入所谓补偿模式工作，发出各种步进脉冲序列，反复往返多次寻找和微定位，直至读出正确为止。还如引入纠错编码，自动跳过磁介质缺陷等技术，以提高设备本身的容错能力。

(3) 采用更好的非机械接触式的磁流体密封技术，使在主轴高速旋转时，机械磨擦损失减小并能阻止污染的油、气，从主轴电机上沿轴表面侵入盘腔，使温盘机的盘腔达到高度的密封，保证能经得起几十万次的接触起停而不损害磁头和盘面并延长了主轴使用寿命。另外，由于磁流体是一种柔性物质，故能起减小主轴高速旋转产生的振动向盘片传递的作用，确保旋转稳定性和减小径向摆动，提高定位精度。

(4) 减少热量，改进冷却结构。

对于头盘组件完全密封的温盘机来说，尤其要注意冷却结构的设计。例如将底座铝铸件铸成鱼鳍状结构，使冷却更有效。EXT-4380型5.25英寸温盘机，容量380MB，在有限体积内要放8片盘片。除有良好的循环气流能起有效的冷却作用外，还在密封壳体外边装有散热肋，使盘腔内的热量在允许范围内。日本电话电报公司在最新开发的PATTY-Ⅱ温盘机的盘腔内，充以象氦这样的低密度气体，使风阻损耗减小至五分之一，并且因氦的传热性能好，能使执行机构的温升控制在未充氦时的二分之一。另外，由于氦的低密度，有效地减小了盘片的振动。

IBM公司在1985年二月公布3090计算机后的三个月，开始出售整机容量为5千MB的3380-E温盘机。3380-E的位密度与3380差不多为16000BPI，道密度为3380的一倍即1600TPI。面密度达25.6兆位/英寸^2。在IBM公司公布3380-E后，日本，美国许多著名的磁盘机制造厂，加速开发步伐，紧追IBM公司，相继公布他们与3380-E的对等机种。例如美国的Memorex，STC，日本的富士通，日立，NEC等。然而他们的对等机种出售时间均比IBM晚一年左右。因此IBM-3380-E还是代表目前记录密度最高的正式产品。当然，在试制中的产品，有比IBM3380-E水平高的，例如日本电话电报公司试制成功了单轴容量达4000MB的PATTY-Ⅱ型磁盘机。因盘腔内充以低密度的氦，使浮动间隙减小至0.15μm，比西门子的Megafile 1300的0.2μm还要小，使位密度达25400BPI，道密度达1800TPI，面密度达45兆位/英寸^2。

自1976年IBM-3350第一代温盘机问世后，随着个人计算机和办公室自动化的迅猛发展，促使外存储器向小型化、大容量、低价格、高可靠推进。几乎与第四代磁盘技术的代表产品诞生的同时，出现了第一台64MB的8英寸62-PC温盘机。此后，CDC，NEC等公司相继推出8英寸温盘机。1980年，Seagate公司推出第一台6MB的5.25英寸小型温盘机，1983年，CMI公司又推出第一台半高度5.25英寸小温盘机，同年，Rodime公司推出第一台3.5英寸微型温盘机。小型、微型温盘机的相继出现，使硬磁盘机市场的产品品种结构，发生了很大的变化。通过对硬磁盘机市场趋势分析，可得出以下五条结论：

(1) 曾几何时，由8英寸温盘机所占据的低(30MB以下)中(30～100MB)档的市场，于86、87年两年内，很快已被5.25英寸和3.5英寸温盘机完全取代之。

(2) 3.5英寸温盘机和半高5.25英寸温盘机将占据低档的全部市场。

(3) 全高5.25英寸温盘机退出低档市场后的去向是：近期内占据中档和中高档(100～300MB)市场，并正向500MB以上进军，力争更多地涉足于中高档和高中档(300～500MB)市场。

(4) 8英寸中型温盘机，在1984年至1986年里，中高档曾是它的主要市场。但在今后两年里，将转向高中档市场与5.25英寸温盘机展开竞争。

(5) 在这几年里，高中档和高档(500MB 以上)是14英寸大温盘机的主要市场。预计1988年开始，因5.25英寸温盘机和 8 英寸温盘向它的逼进，只有高档是它的市场。

从以上五点结论中看出，5.25英寸半高和全高温盘机在今后几年里，将活跃在各档容量的商品市场中。

5.25英寸小型温式磁盘机是继承14英寸温盘机技术和软盘机技术的产物。自它诞生之日起，就带着其本身所具有的特点，推动着磁盘机技术和磁盘机工业的发展。尤其是高性能小温盘机，在技术上更具有代表性、综合性。在它身上，大体上集中了磁盘技术发展的最新成就。小型化微型化后的小温盘机能更有效地取得提高记录密度，提高存取速度，减小功耗，提高可靠性，降低成本等效果的一系列技术成果，促使 8～10.5 英寸的温盘机存储容量向 1000MB 逼进。大有取代14英寸温盘机的架势。为此，归纳、总结一下小温盘机技术和其发展的特点，将有助于进一步了解磁盘技术和工业的发展趋势。5.25英寸温盘机在其技术上，市场竞争等，具有以下九个特点。

1. 5.25英寸温盘机是以高记录密度技术为基础的。

高记录密度对于给定容量的磁盘机来说，意味着可用更少的磁头和盘片，更小的盘片和磁头及取数臂，更小的电机。致使风阻损耗更小，散发的热量更少，耗用的电能更小，最终达到减小体积，缩小尺寸之目的。5.25 英寸温盘机的技术是 以 3350 温盘为基础，逐步改进发展起来的。既然它是应满足个人计算机的需要，从低档容量起家的，低成本必然比大温盘更重要。故定位系统在刚开始时，只能用步进电机开环控制方式，道密度较低。与14英寸温盘机的高密度技术相比，早期的 5.25 英寸温盘机，与其说是高记录密度的产物，还不如说是高位密度的产物，更确切些。1980年第一台5.25英寸温盘机，道密度只是3350的478TPI 的47%，而位密度比3350 高出 19.7%，为 7690BPI 。又如 CDC 的83年产品9270 型3.5 英寸微型温盘机，容量 6.38MB ，位密度比容量相同的5.25英寸温盘机高出50%以上为 15390BPI，比 3370 的位密度 12314BPI 还高出24.9%。因此，高位密度的薄膜介质首先用于 5.25 英寸温盘机，成为提高 5.25 英寸温盘机记录密度的重要技术支柱；是小型和微型温盘机技术发展的明显特征之一，并且日益普及地用于高性能 5.25 英寸温盘机中。

连续金属薄膜磁介质，其磁性能比涂布铁氧体磁介质好，剩磁大， Hc 高，不含有非磁性填料，故能在保证有一定读出信号幅度的前提下，厚度可减薄至 0.2μm 以下，仍有很好的分辨率和高的位密度。尤其是5.25英寸温盘机的线速度低，在介质磁性能相同的情况下，其读出信号幅度远比大温盘机要小。采用薄膜介质可弥补因线速度低读出信号减弱的问题。因此薄膜介质主要适用于5.25英寸以下的温盘机，14英寸温盘机的磁介质，几乎至今还看不到采用薄膜介质的产品。

薄膜介质有镀膜和溅射薄膜两大类。镀膜介质有电镀薄膜和化学涂膜两种。电镀和化学涂又称“湿法”；溅射或真空蒸发又称“干法”。

镀膜介质是先在铝基片上用化学镀工艺镀上一层镍，然后再化学涂或电镀一层镍钴磷磁介质而成。电镀薄膜介质的工艺是早期用于IBM和UNIVAC 计算机的磁鼓电镀膜长期改进的结果。1960年宝来公司将电镀盘片首先用于每道一个磁头的固定磁盘机。安佩克斯最早将铝硅系合金的电镀盘片用于活动头磁盘机。如在电镀磁介质上再覆盖一层干的有机润滑剂，使它就具有温彻斯特技术所要求的耐磨性和抗腐蚀性。镀膜盘片因不需要昂

贵的设备，制造成本较低。而且正如前述，因工艺历史悠久和有众多原有电镀磁介质经验的厂家，故目前比溅射薄膜应用广泛些。1981年，Irwin International，IMI，新世界，EVOTEK 和Texas，Syquest 等公司已将电镀盘片用于5.25英寸温盘机。Vertex 公司的 V100系列5.25英寸温盘机；CII Honeywell Bull 公司的 D500系列5.25英寸温盘机也都用电镀盘片；CDC 公司的 Cricket 3.5 英寸微温盘机也用电镀盘片。

虽然目前在5.25 英寸温盘机中，采用电镀盘片比溅射镀膜盘片的厂家多，但由于镀膜介质这种湿工艺固有的缺点：溶液浓度难以保持不变，难以控制 的污染（对产品的污染），质量较难保证，装配时易碰伤等，即使是制造镀膜的厂家对它的评价也不高。特别是看到80年代末，薄膜磁头成本会大幅度下降而逐步广泛应用；而镀膜介质又不能象溅射介质一样，使其磁性能可在较宽范围内调节以适应薄膜磁头特性的要求，导致对记录密度的提高，受到一定的限制。因此有不少人认为镀膜磁介质不宜长期使用，而主张以溅射薄膜介质工艺作为制造薄膜介质的主要工艺。

由于对导半体制造工艺的不断改进，使溅射工艺成为大量生产盘片的技术，有了可能。溅射工艺是在局部真空条件下进行的，免除了对盘片的污染。它的干式工艺，有助于使用碳润滑剂作为保护层，并在同一真空环境里，一起溅射形成。它的生产过程可精确而严密地控制，成品一致性好，合格率高。磁微粒很细小，不到氧化铁的十分之一，故磁层厚度可以做得很薄，甚至可达埃的数量级。铁氧体涂布介质，因其甩胶涂布工艺技术的原因，内外磁道的厚度不匀，形成里厚外薄。而位密度是对最里面的一个磁道而言，故在涂布介质制造时，减薄里圈介质厚度，使趋于均匀，将意味着位密度的提高。溅射薄膜介质不存在甩胶工艺引起的里厚外薄的问题。它的表面光洁度比镀膜介质还要好，进一步减小涂布氧化铁介质的浮动间隙的主要问题还应考虑介质表面光洁度。涂布介质表面粗糙度大，故浮动间隙不能小于 0.23μm。而溅射薄膜，仅表面光洁度这个因素，可使浮动间隙减小至 0.05μm，使磁通翻转密度有超过 50000FCPI 的可能（有人认为电镀介质的磁道翻转密度超过 20000 是很难的）。溅射介质的磁性能 Br 和 Hc 可在较宽范围内调节能适应包括薄膜磁头在内的各种磁头特性的要求，达到充分发挥薄膜磁头作用，进一步提高位密度之目的。溅射工艺是一个转移材料原子的慢过程，故所需设备较多，并且生产线的变更不如电镀介质工艺灵活。另外，溅射工艺需产生均匀而平行的电场。盘径越大，产生这样的电场，更困难些，故主要适用于小型和微型温盘机的盘片制造。

就磁性能而言，镀膜介质和溅射介质几乎一样。但就生产难易程度、质量、可靠性来说，溅射工艺比镀膜工艺好。表 3-1 是在道密度都为 1000TPI 的情况下，涂布介质5.25英寸温盘机和薄膜介质5.25英寸温盘机的记录性能的比较：

表3-1　涂布介质与薄膜介质5.25英寸温盘机记录性能比较

参　　数	氧化铁涂布介质	掺钴氧化铁介质	镀膜介质
读出信号 mV	300	350	600
分辨率（%）	50	65	85
重写残余度（dB）	26	26	36
信噪比（dB）	25	29	38

Applied Information 公司的 Lance 850 型小温盘机，采用溅射薄膜介质，位密

度竞达30752BPI。

尽管因氧化铁涂布介质的技术成熟，很多5.25英寸温盘机目前仍采用涂布介质，但由于涂布介质技术的固有不足和溅射介质技术的固有优点，在以后两年内，大有取代涂布介质之势，作为高性能5.25英寸温盘机普遍采用的技术。因此，现在采用涂布介质的厂家，例如日立，富士通，日本外设，Rodime，Seagate，Plus Development，下一步都在考虑改用溅射技术。新建的盘片厂，一开始也优先考虑采用溅射技术。即使对镀膜介质工厂特别是美国一些化学涂膜盘片厂来说，考虑到既然为提高保护层的保护效果和润滑性能，需溅射一层碳保护层，何不将保护层的溅射工艺扩大到全过程。因此预计镀膜盘片在薄膜介质中的主要地位让位于溅射薄膜，也只是时间问题而已。

综合上述，展现在人们面前的磁介质的进程将是：再过两三年，介质之间的竞争将从薄膜和涂布的角逐向溅射和镀膜之间的竞争转移。

在5.25英寸温盘机中，除低档产品还有采用3350改进型的磁头结构外，大多数30MB以上的产品均使用月牙技术的磁头支撑机构，这是5.25英寸温盘机以高记录密度技术为基础的又一明显的特征。关于薄膜磁头，除高性能5.25英寸温盘机有采用外，因目前它的工艺有其复杂之处，合格率不如铁氧体头高，故在价格上还不能与铁氧体磁头竞争，还需要一段时间才会广泛应用。换言之，铁氧体磁头还将继续被大量应用。

2. 多种定位技术的并存，比大型温盘机易提高道密度。

既然5.25英寸温盘机是应个人计算机扩大外存容量的需要而在高记录密度技术支持下的产物，理应力求低成本与个人计算机售价相适配，因此其定位机构，在一开始只能移植5.25英寸软盘机的步进电机开环控制技术的钢带直线式定位机构。步进电机每走一步，借助主动轮，通过钢带驱动磁头，沿盘面径向作直线移动。道密度的提高直接依赖于步进电机的分度细密度和决定定位精度的步距角及传动机构产生的误差。电机分度越小，角精度越高，但制造难度就大。最初，步进电机每转一周为200或300步，即分度为1.8°或1.2°，故定位精度低，道密度低。1980年的第一台5.25英寸温盘机ST-506，道密度为255TPI。随着出现分步小，步距角精度高的步进电机以及钢带传动机构的改进，这种钢带直线式定位机构的道密度，自1982年以后逐步得到提高。IMI公司于1982年6月推出的5012H的小温盘机的钢带直线式机构，道密度达303TPI。同年，IMI公司的5650H温盘，仍采用经改进的这种定位机构，道密度达606TPI。EVOTEK公司采用分度为0.72°即每转一周为500步的步进电机，道密度达500TPI（ET-5849型）。对5.25英寸温盘机结构尽量紧凑的迫切要求，出现了步进电机转臂式定位机构，道密度在250－400TPI范围内。直线式定位结构的磁头小车需要六个优质滚珠轴承。四个作精确引导用，二个起撑脚作用，防止小车侧滚并对轴承系统施行预加载。转臂式结构只要二个优质轴承，即可使传动轴支持磁头旋转，达到结构紧凑的目的。转臂式结构能在要求不过高的步距角精度和不过分减小分度的情况下，磁头移动一道的间距可比钢带直线式的移动间距小，Shugart公司于1982年至1983年推出的SA600和SA700两个系列的5.25英寸温盘机钢带转臂定位机构，道密度达345至360TPI。Seagate公司的ST-225半高度5.25英寸温盘机，采用改进的钢带转臂定位机构，并结合采用半闭环定位技术使在电机分度仍为0.9°时，道密度提高到580TPI。82年还出现了Miniscribe公司的齿轮齿条式的直线开环控制方式，能使步进电机全速旋转，故允许在每个盘面上具有更多的磁道，道

密度达到588TPI并改善了重复定位的能力。随着微型计算机多用户系统和局部网络的发展，对5.25英寸温盘机的容量和速度提出更高的要求。于是，又移植大型温盘机的闭环控制定位技术。道密度从刚开始采用音圈电机时的600～700TPI提高到1000TPI以上(采用伺服面伺服技术)。但昂贵的伺服面刻写装置和复杂的伺服电路以及伺服面占用了一个可用的数据面，导致产品成本的提高，容量的减小(这对体积有限制即盘片数量有限制的小温盘机来说，显得更重要)。因此，使伺服面伺服技术在5.25英寸温盘机中的使用，将受到一定的限制。Quantum公司首先在它的5.25英寸温盘机中，采用一种不占用盘面而使容量不减小的索引伺服技术。把主轴转速从3600转减至3550转，使在索引信号前的一小段原为主轴转速容差而给出的一片时间有所增加，从而挤出一点时间写上伺服信号。这样，既不改变传输率，也不让控制器感觉有伺服信号的存在。这种技术主要用于精定位，故称半闭环定位技术。它使道密度提高到步进电机开环方式的一倍左右。日本NEC、三菱公司的3.5英寸温盘机也采用了索引伺服技术。1984年，CMI公司采用所谓Swing-arm传感装置，道密度高达1173TPI，使其CM-7660和768小温盘机的容量分别为60和80MB。有的公司将所采用的索引伺服技术也称为所谓“嵌入式伺服技术，例如维科公司的HH612型12.6MB单片5.25英寸温盘机。还有一种“扇段伺服”技术，将所有伺服信号刻写在伺服扇段里，以两个频率不同的伺服信号幅度差是否为零表示磁头是否定位在磁道中心，定位精度较高，道密度可以做到是ST506的2.5倍为648TPI。其磁头既作读写用，又作伺服信号读出用。索引伺服信号，每转一圈才能得到；扇段伺服信号也只能间断地得到，因此这两种定位技术的定位时间比伺服面定位技术的定位时间长。另外，在扇段伺服技术中，因伺服信号被嵌在数据扇段之间，使数据扇段的长度不能自由改变。于是出现各种双重伺服技术。首先在IBM的8英寸Piccolo温盘机中，粗定位用伺服面伺服技术；精定位用扇段伺服技术。Maxtor公司沿用Piccolo这种双重伺服技术；使道密度提高到1376TPI，最大容量达450MB，84年还展出过760MB小型温盘样机。日本胜利公司还采用以磁尺伺服技术作粗定位和以扇段伺服技术作精定位的双重伺服技术。曾有人提出双层介质伺服技术的概念：上一层是易磁化的信息记录层；下一层是高Hc不易磁化的伺服信息层。慎重选择二层介质材料的Hc，以确保数据记录层的读写不会破坏下层的伺服信息。正在探讨和实验的双层介质，定位精度达±0.1微米。

表3-2是步进电机开环控制，索引伺服，伺服面伺服，扇段伺服等四种技术，在大、中、小、微盘机中可能达到的道密度范围。

表3-2 温盘机性能比较

大小 / 道密度 TPI / 控制方式	大温盘机	中温盘机	小温盘机	微温盘机
开环控制	200	300	600	75
索引伺服	300～400	800	1000	1200
伺服面伺服	800～1400	1000～1800	1200～2200	2000～2500
扇段伺服	1200～1800	1400～2000	1600～2400	2000～3000

从表3-2得出两点结论：

(1) 以扇段伺服技术可能达到的道密度最高。

(2) 对同一种定位技术而言，盘径越小，道密度越高。这是由于盘径减小后，影响定位精度降低的诸因素的作用也相应被减小之故。以限制定位精度提高的主要因素之一——主轴的偏摆和振动为例来说明这个道理。现在，硬磁盘机所用的主轴大多采用二个滚珠轴承的结构。一个被固定；另一个在装配孔里的预加载弹簧的作用下，可自由滑动。轴向预加载结构是防止振动的有效方法，合适地选择轴承并采用大预加载力的轴向预加载结构，可得到振动小的主轴系统。然而，大的轴向预加载力，对大盘径温盘机来说，启动功率受到一定的限制，并且旋转盘片所需功率是随转速的增加和盘径的增大，以指数增加。因此盘径越小，轴向大预加载力的结构越易实现，于是振动越小。因此，对于采用同一种定位技术来说，小温盘机的定位精度和道密度比大温盘机的道 密 度，容 易提高。

Ferrofluidics 公 司提出一种磁流体油膜轴承，能 使径向摆动从机械轴承的50微英寸减小几个数量级。如这种磁流体油膜轴承的粘滞摩擦小并具有好的刚度，使其能投入实用的话，必将有效地提高道密度。

3. 对接口电路的要求比位密度相当的大温盘机要低。

盘径被减小后，线速度被减低，这就降低了对接口电路的要求。14 英寸的 IBM-3380 的位密度为 15240BPI，其 3081 通道的传输率为 3KB/s；而在相同的位密度和转速的前提下，5.25 英寸小温盘机的传输率只在 1 至 2 KB/s 以内 。 例 如 EVOTEK 公司的 5800 系列，位密度 16250BPI，传输率只为 1.025 KB/s 是 3380 的传输率三分之一。Maxtor 的 EXT-4000 系列的位密度 22310BPI，传输率 1.25KB/s。 CDC9270 型 3.5英寸温盘机，位密度 15390BPI，传输率仍为 ST-506 接口的水平 0.625 KB/s，只有相同位密度的3380的四分之一还不到。因此，在相同的电路频带的条件下，允许5.25英寸温盘机的位密度可比 14 英寸大温盘机做得高。 反过来， 在要求相同的位密度前提下，对电路要求，5.25英寸温盘机比大温盘机低，这就为低成本创造了条件。

4. 高的片密度和高的体密度。

每盘面的道数，除靠提高道密度可直接增加外，还可适当增加位密度间接增加。因在不改变原每道字节数和转速即不改变传输率的条件下，如适当增加位密度，最里边的内磁道可向磁圆柱体中心延伸，收到加宽盘面径向记录区宽度，增加 每 盘 面 磁道数的效果。对大盘径温盘机来说，因盘片内外磁道的直径差较大，似乎采取间接增加道数的办法，必要性不大。并且大磁盘机的接口，因其产品的市场以自配居多，标准化程度不如5.25英寸温盘机迫切。在位密度提高后，直接增加每道字节数，因圆周比5.25英寸温盘机长，其所增加的容量比间接增加道数要大。但对5.25英寸温盘机来说，情况相反，当道密度与大温盘机的道密度相当的情况下，为增加容量，采取这种间接增加道数的办法比直接增加每道字节数更有效，并且可不改动接口的传输率。 例 如 Miniscribe 公司的4000系列5.25英寸温盘机和5000系列的5.25英寸温盘机，道密度均为 588TPI 。4000 系列的位密度为 8575BPI，每盘面 480 道；而5000系列的位密度比 4000 系 列 只 增 加了14.5%为10030BPI，但每盘面的道数在道密度相同时增加27.5%为612道。又如Maxtor公司2000系列的位密度为1000系列的1.129倍，而盘面道数，在密道度相同均为 980TPI

的情况下，增加了三分之一，为1224道。当然，在加宽记录区的同时，需稍加改进步进电机定位系统的传动机构，使磁头行程增大，与所加宽的记录区相适配。

以盘面容量除盘面面积(注：假定盘片内孔的面积暂计在内)，定义为盘片片密度。从表3-3可看出，微温盘机的面密度不算低，有的比小温盘机还高；但其片密度反比5.25英寸温盘机低。这是因为盘径过小，能利用的记录区宽度实在有限之故。从表3-3中的数据可知，5.25英寸温盘机的片密度比大温盘机高。例如，Maxtor 4000系列的片密度是3380的1.7倍(格式化)；Applied Informatoon公司的DART130为3380的1.27倍(格式化)；LANCE 850为3308的1.9倍(格式化)

表3-3 温盘机的片密度和体密度

年 月	产品型号	道密度 TPI	道数	位密度 BPI	每道字节数	盘径(英寸)	面密度 位/英寸²	盘面片密度字节/英寸²	磁盘机体密度字节/英寸³
80. 7	ST-506	255	153	7690	8192(F) 10416	5.25	1,360,950	57,928 73,655	
79. 10	IBM-3370	635	1500	12134	31744(F)	14	7,705,090	309,476(F)	
79. 二季	CDC9730-1 60MMD	680	1646	6220	20160	14	4,229,600	215,672	
84. 一季	MaxtorXT- 2000	980	1224	11155	8192(F) 10416	5.25	10,931,900	463,429(F) 589,243	
84. 二季	3370改进型	800	1916	12134	31744(F)	14	9,627,200	395,304	
84. 1	MaxtorEXT -4000	980	1224	22310	16384(F) 20832	5.25	21,863,800	926,859(F) 1,178,487	2,558,394
31	IBM-3380	800	1770	15240	47476(F)	14	12,192,000	546,162(F)	
83. 三季	CDC9771 XMD	960	2046	15400	50400	14	14,784,000	670,209	
80. 4	CDC9775F FMD	660	1686	6350	20160	14	4,191,000	220,913	
84. 三季	Lance850	1000	916	30750	33331 16384(F)	5.25	30,750,000	1,411,055 1,040'455(F)	
80. 4	DART130	1000	916	19220	16384(F) 20832	5.25	19,220,000	693,630(F) 881,939	
83. 5	CDC9270Cr -icket	450	306	15930	10416 8192	3.5	6,925,500	331,449 260,678(F)	
83. 5	富士通 M2294	858	2048	6500	20480	14	5,577,000	272,605	134,200
82. 11	AMS315	712	1646	6363	20160	14	4,530,456	215,674	59,472
85. 四季	西门子1300	1207	1224	19077	21000	5.25	23,025,939	1,187,991	2,062,876

如以设备总容量除以设备体积，定义磁盘机的体密度，评价磁盘机，更能综合反映磁头、盘片、电路、结构、散热等设计水平。从表3-3所列出两种14英寸和两种5.25英寸温盘机的体密度可知：5.25英寸温盘机的体密度是14英寸温盘机的15.37～43.02倍；故以体密度来评价，5.25温盘机的优越性更为显著。

5. 高的产品结构向上继承性

新建的小温盘机厂，有不少是由一些富有经验的技术专家和经营有方的企业家组建的。仔细研究他们开发的小温盘机产品结构，发现他们走的一条十分注意采用新技术、高技术并很重视产品结构向上继承的以技术取胜的路子。所谓产品结构向上继承性，是指增加容量(尤其是当要成倍增加容量时)，磁盘机的结构(尤指机械结构变动程度)，变动越小，向上继承性越高。产品结构变动越小，引起生产线的生产技术，包括零部件制造，元器

件品种，专用装配工具和其它专用工装及专用测试设备等改动越小。这就可以尽量做到投资小而应变能力强，即产品升级虽快而不致引起生产线和生产技术的改动太大、太多。使有足够的时间，进行技术更新较大的产品开发，做到步子不跨则已，一跨就是一大步。

这几年，5.25英寸温盘机的产品结构向上继承性的发展趋势较明显。下面按继承性好差顺序来讨论

(1) 只要增加盘片数即可覆盖全档容量或跨两档甚至跨三档，而其机械结构基本不变，这种办法的继承性最好。

全高5.25英寸温盘机的高度均为3.25英寸。不论装一片，二片或三片，其外形高度都一样。因此，在这个有限的标准高度内，使结构设计得尽量合理，尽量多装几片盘片，是一个最容易成倍增长容量而产品结构变化最小的办法。早期的低档5.25英寸温盘机，大多只能装到三片。如按每片为6MB多一点计算，要做到在不改变每盘面道数和每道字节数的情况下，覆盖30MB低档全范围是不可能的。例如，Tandon公司的低档5.25英寸温盘机只能装到三片，每片6.4MB，三片为19.1MB。故要想满足IBM-PC/XT需配格式化容量20MB的温盘机(一般说，格式化容量是非格式化容量的80%，只能提供把道密度从345TPI提高到600TPI的音圈电机定位机构的TM-703型5.25英寸温盘机。又如Seagate公司的低档5.25英寸温盘机ST-412，也只能装到三片。25.5MB的ST-425型5.25英寸温盘机，是把道密度从ST-412的345TPI改为480TPI，才能做到三片的5.25英寸温盘机的非格式容量达25.5MB。相反，不少公司，因产品结构合理，在3.25英寸高度内，均可装到四片盘片，使一种设计，覆盖低档温盘机的全容量范围。例如：OTARI公司的RMS-507,514,519，526四种5.25温盘机，定位机构均步进电机钢带转臂式，其容量分别为一片6.38MB，二片12.75MB，三片19.13MB，四片25.5MB。Rodime公司的RO201，202，203，204四种5.25英寸温盘机，定位机构都为步进电机转臂式，其容量分别为6.67MB，13.33MB，20.0MB，26.67MB。定位机构都是步进电机钢带直线式的EVO-TEK公司的55系列，其容量分别为：EF5510单片7.81MB，5520为二片15.62MB，5530为三片23.34MB，5540为四片31.74MB。

盘径结构设计更为合理的是Maxtor公司的5.25英寸温盘机。采取主轴电机装进盘毂(hub)里，以代替下面的主轴，腾出宝贵的空间。减小盘片间的间隔高度并解决间隔过小不易散热和片数增多引起热量增多的散热问题，使在3.25英寸高度内，最多可装八片盘片。由于盘片数比一般只能装到四片的增加了一倍，故其容量覆盖范围更大，可以跨两档，例如Maxtor的XT-1000系列可从中档跨入中高档66.99MB到143.55MB；2000系列从89.24MB到191.24MB；4000系列从中档到中高档又跨入高中档，横跨三档，从76.49MB到382.84MB。又如Rodime公司的RO-206，RO-208分别为三片40兆；四片53.34兆。如以每片13.34MB计算，可推算二片为26.68MB，从低档跨入中档。Tulin公司的TL200系列半高5.25英寸温盘机，比一般的半高5.25英寸温盘机可多装一片，故其容量可从低档跨进中档40MB。

(2) 前已介绍过的间接增加道数的办法，只涉及改进磁头结构或更换盘片，产品结构改动也很少。

(3) 局部改进定位机构，适当提高位密度，例如换一个分度小的步进电机，引起的机械结构改动不算太大。

(4) 采用先进的编码方式，例如RLL2,7码，提高位密度50%后，如保持原每道字节数和传输率不变的话，只涉及编码和译码电路的改动，产品的机械结构变动不大。

(5) 上述四种办法，均可做到接口标准不变仍采用ST-506/412接口，对提高位密度后，是否要提高每道字节数，宜取慎重状度。一般，只有在位密度翻一番时，才值得提高传输率一倍，去改动接口标准。例如Maxtor公司的4000系列，位密度是2000系列的翻番为22310BPI，设计了传输率为1.25MB/s的ESDI接口。改动接口引起控制器电路和磁盘机的读写电路的改动虽不少，但产品机械结构改动是不大的。

(6) 定位机构作较较大改进，例如将步进电机开环控制方式改为音圈电机闭环控制方式，道密度虽易翻番，但产品机械结构改动最大。

实际上，结合以上几点的改进也是常见的。

综合上述，融合几家高技术于一体，例如Maxtor的盘腔结构，Applied Information的溅射薄膜介质高位密度(30750BPI)技术以及CMI的高道密度(1173TPI)技术三者融合一体，5.25英寸温盘机容量高达500兆以上，不会有什么问题。Maxtor公司已试制出760MB的5.25英寸小温盘机，其道密度1360TPI，位密度为31429BPI。

6. 存储容量的覆盖面大。

5.25英寸温盘机技术的多样化：多种定位技术并存，三种介质均可采用等等，故能适应各种容量档次的需要，容量覆盖面大。目前，它的存储容量覆盖面已跨四档，从低档，中档，中高档到高中档。并即将跨入高档形成覆盖全部五档的局面(例如Maxtor公司760MB的XT-8760型5.25英寸温盘机)。

7. 高的标准化程度。

磁盘机市场分三类：自配(Captive)，OEM及PCM。自配指为本公司的计算机系统配套而自制的磁盘机；OEM市场是为系统或磁盘子系统集成厂配套的市场；PCM市场指接扦兼容厂商售给最终用户的市场。还有一种分类法：自配，OEM，IBM三种。因PCM市场的逐步被缩小，把它包括在自配市场内。从年销售量看，OEM市场所占的比例最大，82年为56.4%，83年为77%，84年为83.5%，85年为75.5%，86年66.6%。在OEM市场中，主要是大量的中低档5.25英寸温盘机，它占OEM市场的比例：低档OEM 5.25英寸温盘机，83年为116万台，占当年全部低档硬盘机的91.72%，86年为400万台。

既然5.25英寸温盘机的市场以OEM市场为主，那么要求众多的OEM小温盘机厂商的产品均能被各计算机系统厂和子系统厂商广泛采用，在磁盘机与控制器之间以及与主机箱的物理结构之间，必须要有一个能为大家接受和公认的介面标准。

外形尺寸统一为全高度：高3.25英寸，宽5.75英寸，深8英寸；半高度，高1.63英寸，宽和深同全高度。

电气方面的接口标准；曾对187种5.25英寸温盘机作过统计，有90%以上采用ST-506/412接口，传输率5兆位/秒。即使微型温盘机，也大多采用ST-506/412接口。近年来为适应大容量的需要，出现了适应高传输率的高性能5.25英寸温盘机的接口标准。例如“加强型小温盘接口ESDI”，受到十五家磁盘机厂和十一家控制器厂商的支持，传输率为10兆位/秒，能支持8片盘片，16个磁头。曾从七家厂商的25种传输率要求10兆位/秒的5.25英寸温盘机中，作过统计，采用ESDI接口者，占80%。

8. 在容量和平均找道时间大体与14英寸大温盘机相当的前提下，具有售价更低的优点。

通常磁盘机的磁头驱动和控制电路等贵重部件的总成本比较固定。即使存储容量扩大几倍，这些贵重部件的成本亦不会多少增加。所以降低磁盘机成本的一个主要途径是提高记录密度增大容量。目前，磁盘机的千字节成本已从八十年代初的5.6至8美分降至1美分左右。对5.25英寸温盘机来说，一方面它是一个高记录密度技术的产物；另一方面，它反过来又是给高密度技术一个以充分发挥作用的舞台。因此，5.25英寸温盘机具有在容量和平均找道时间与大温盘机大体相当的前提下，成本更低的优点。尤以高性能小温盘机更是如此。例如，Centarg Data System公司的AMS 315和美国富士通公司的M2294这两种14英寸温盘机的容量分别为315和335MB，平均找道时间分别为25和27ms，其价格分别为10500美元和11100美元；而Maxtor公司的EXT-4380和两门子公司的Megafile 1300这两种5.25英寸温盘机容量分别为382MB和306MB，平均找道时间分别为29和25ms，其价格分别为4760美元和3900美元。14英寸大温盘机的价格是5.25英寸温盘机的二倍还多一点。

9. 新厂林立，竞争更为激烈。

5.25英寸温盘机的出现，促使许多温盘机制造厂的建立。1983年曾统计美国从1979年以来新建的四十家磁盘机公司中，有70%是温盘机厂。如再除去只生产软磁盘机的九个厂，新建的温盘机厂几乎占硬盘机的90%。在1982年新建的14家磁盘机厂中，有十个温盘机厂，其中只生产5.25英寸小温盘机者，占80%。截止83年底、美、日、西欧共有73家硬磁盘机厂，其中只生产5.25英寸温盘机有39家，生产8英寸温盘机有14家。如包括那些5.25英寸和8英寸均生产的工厂，共50家小温盘机厂，占当时硬盘机厂总数的68.3%。

5.25英寸温盘机市场既然以OEM市场为主，必然使众多的小温盘机厂，面对OEM市场，展开激烈的竞争。82年美国有五十家磁盘机厂，至85年只剩下43家，而日本却新增了五家。

磁盘机行业与计算机行业一样，85年可称它的萧条年。四十多家磁盘机厂在这一年生产经营陷入困境。有的倒闭破产，例如负有名望的IMI，Shugart，AIM等五家公司。有七家宣布陆续停业；卷入合并改组的公司更多。陷入困境的40多家磁盘机厂中，有不少是5.25温盘机厂。特别是5.25英寸温盘机的最大买主IBM公司生产出为自己系统配套的5.25英寸温盘机，各5.25英寸温盘机厂之间的价格竞争更为激烈，迫使小温盘机厂纷纷把生产移向劳动力较便宜的国家，以期获得更好的价格竞争力。例如至85年还占5.25英寸温盘机产量第二位的Miniscribe公司，计划将其75-80%的5.25英寸温盘机生产力转向东南亚国家。即使是推出第一台小温盘机的Seagate公司，其销售量占世界市场的比例，也随新厂林立，竞争激烈，逐年下降。1981年，它的5.25英寸温盘机畅销世界各地占三分之二，1982年占40%，1984年底只占34%。尽管他在降低价格方面，下了很大功夫，至1985年，也不得不受IBM自配5.25英寸温盘机的冲击，销售量急剧下降。安佩克斯推迟了5.25英寸温盘机的发展计划。CMI公司是第一家供20MB 5.25英寸温盘机给IBM公司的厂商，因质量问题，1985年上半年出现了亏损。CDC公司在磁盘机行业里可称名列前茅，1985年亏损二亿美元，不得不关闭了在硅谷的一家磁盘厂。

CDC 由于又把OMAHA 的盘片厂卖给 XIDEX 公司，从 1986 年它与 Kearneg 公司一道，基本上退出铁氧体涂布介质盘片的市场；而 CHARLTON/XIDX 和 DYSAN/XIDEX 成为最大的铁氧体盘片厂，其所占比例分别为60%和21%。镀膜盘片厂间的竞争也很激烈。在84年还占41%的安佩克斯公司，占 14% 的 Poly Disc 公司，占11%的 SAE 公司，至86年均已成为在镀膜盘片方面没有影响的工厂；而原不出名的Domain 公司上升到占38%，Megastor 公司占22%，日本公司占25%。即使近几年才出现的溅射盘片，各厂也出现了激烈的竞争。84年还占64%的 LIN DATA 公司，仅隔两年就降至21%；而84年还未投放市场的KOMAG公司及Seagate 公司，至1986年，其溅射盘片的比例分别占30%和14%

展望今后硬盘技术的发展趋势，纵向记录技术的潜力，从理论上看(理论位密度可达170KBPI)，还是很大的。挖掘这潜力的主要方向是：继续完善密封结构；双薄膜化(磁头和盘片均采用薄膜技术)，继续改进盘片介质上的润滑技术，所谓零加载微小浮动量的磁头的研究等等。预计硬盘机在今后若干年内，仍是计算机系统的主要外存储设备。

第二节 软盘机

70年代初，IBM公司因研制3740数据录入系统的需要，推出第一台每片盘片只用一面的8英寸软盘机．位密度为 3480BPI，道密度 48TPI。紧接着又推出盘片两面都使用的8英寸双面软磁盘机，存储容量翻了一番。1977年，IBM公司将原8英寸软盘机所采用的调频制(FM)记录方式改为“改进型调频制(MFM)”记录方式，使位密度提高一倍，推出第一台8英寸双面双密度软盘机。原采用调频制的 8 英寸软盘机称为8英寸单面或双面单密度软盘机。随着微型计算机尤其是个人计算机日益普及的需要，进一步缩小软盘机体积，成为十分必要。原在 IBM 公司主持设计第一台8英寸软盘机 Shugart，在IBM 公司诞生 8 英寸双面双密度软盘机前二年即 1975 年离开 IBM 公司，创建 Shugart 公司。第二年9月就宣布第一台采用FM制的SA400单面单密度5.25英寸软盘机问世，道密度为48TPI．位密度为2500BPI，存储容量为 125KB。在IBM公司推出8 英寸双面双密度软盘机的同一年即1977 年，Shugart 又推出双面双密度5.25 英寸软盘机。位密度达5000 BPI左右，容量为500KB。与8英寸软盘机相比，价格只有8英寸的 70%，尺寸只有 8英寸的40%，重量只1.4公斤。这就是 IBMPC 机采用的软盘机。

读出信号幅度与道宽和盘片相对于磁头的移动速度之乘积成比。当其它参数相同时，而读出信号幅度不变的条件下，速度越高，道宽越小；而速度越低，道宽越宽。软盘机的磁头与盘片是接触的，转速不可能太高。一般只有300转，故道宽不可能太小，48TPI的软盘机，其道宽为 300～330±0.25mm。另外，软盘片的涤纶盘基，因采用双向拉伸法制成的，导致随湿度、湿度变化而变形的各向异性，使原来的同心圆磁道变为非圆形或椭圆形磁道，产生磁道偏离。盘片面积越大，同样的温度、湿度的变化，产生的道偏离越大。例如，在对8英寸和5.25英寸两种软盘机，给以相同的温度变化±20°C和相同的相对湿度变化 ±30%后，磁道偏离量分别为 ±40μm 和±24μm。当然，影响磁道定位误差减小的原因，除温、湿度变化引起的道偏离外，还有盘片径向摆动、定位机

构的误差和校准盘片调整误差等因素。但在各类误差中，占比例最大的是温、湿度变化引起的道偏离，约30%。因此，过去设计8英寸软盘机时，为尽量减少固定位误差大引起的读出错误，只能采取低道密度的方案。从8英寸减至5.25英寸，大大减小了因温湿度变化引起的道偏离量，为采用高道密度方案创造了条件。通过改进盘基材料（例如以热膨胀系数各向异性小的聚乙铣铵代替涤纶膜）和改进定位机构提高定位精度，Shugart公司于1980年推出倍道密度96TPI，存储容量为1MB的SA460小型软盘机。又如日本Y·E-DATA公司也生产倍道密度的YD-280/480小软盘机。

个人计算机对增大软盘机的存储容量的迫切要求，推动软盘机制造厂商，除采用倍道密度来增大存储容量外，还采取在不改变双面双密度的前提下，压缩体积，让微型计算机主机箱原给软盘机留出的容积内，安放更多的软盘机，以求容量的扩大。1980年，MPI公司推出一种可称划时代的产品，半高薄型8英寸软盘机。这种半高软盘机，对计算机系统设计师来说，不必对其系统作任何设计上的改动，即可使系统的软盘机的容量翻番。同年 ALPS 公司推出5.25英寸半高软盘机。半高5.25英寸软盘机．自问世以来，发展很快，1982年还只占全部5.25英寸软盘机的18.4%，至1984年占有52.89%，达689万台。预计1987年占99.7%，成为当代软盘机的主流产品。

进一步提高道密度，突破96TPI，有两个途径：继续缩小盘片尺寸和改开环控制定位技术为闭环控制定位技术。

1981年，日本索尼公司首先研制成功 OA-30V 型 3.5英寸软盘机，体积只有5.25英寸的四分之一，重量只有5.25英寸的二分之一。由于盘片面积进一步的缩小，温度、温度的变化引起的道偏离又被进一步减小，为提高道密度创造了条件。结合对磁头的改进（使道宽从48TPI的0.3mm 降至 0.125mm）和对盘片夹紧结构的改进（采用与硬盘机主轴托盘的夹紧原理相似的夹紧结构，使道跟踪偏差不超出5μm）以及对定位机构的改进（采用玛瑙针丝杆定位机构，尽量使步进量达到最小程度）道密度可提高到48TPI的2.8倍为135TPI。双面单密度的容量达437KB，双密度为 874KB。同年，日立、松下，日立－Maxell 公司也推出3英寸微软盘机。

在索尼公司推出第一台微型软盘机后，日本国内、欧洲和美国很多软盘机制造厂也纷纷研制微型软盘机，例如东芝的ND353和354，BASF 的 MDD6163和6164，奥利维蒂公司的FD301和302，Tandon公司的TM35-3和TM35-4，MPI 公司的321和322，TEAC 公司的FD-35，都是3.5英寸，道密度135TPI，存储容量为单面0.5MB，双面为1MB。虽微型软盘机尺寸尚未统一，例如DYSAN公司还推出3.25英寸140TPI的0.5MB微型软盘机；IBM公司于83年也推出358KB的4英寸微型软盘机；日立马克塞尔还开发了2.5英寸软盘机。然而，多数软盘机厂例如著名公司Verbatim等均支持3.5英寸。Ataric等12家公司曾明确表态，支持3.5英寸软盘机。两派争论的主要分岐点是主轴转速和介质厚度。3.5英寸派主张介质厚度不减薄，提高转速至600转；非3.5英寸派主张介质材料采用掺钴的γ-Fe_2O_3（Hc从270奥斯特提高到600-650奥斯特），介质厚度从 3μm 减薄至1.2μm，使位密度从6000BPI左右提高到9650BPI左右，主轴转速仍为300转，例如Tabor公司的TC-500/1000 3.25英寸，140TPI，介质厚度为1.2μm，主轴转速300转。

尽管微型软盘机在1984年只占软盘机市场的10%，但它从1984年至1986年，平均增长率为121.3%，1986年销售量可达667万台，预计至1987年将占软盘机市场的30%为

970万台。因此，几个主要国家的很多软盘机厂都在致力于3.5英寸软盘机的生产。

Y·E-DATA公司在倍道密度96TPI的双面双密度5.25英寸软盘机上，采用掺钴铁氧体盘片，介质厚度1.2 微米。它首先推出位密度比双密度软盘机提高 60%左右的高密度软盘机1.6MB。从48TPI提高到96TPI，在技术是一个较大的飞跃。鉴于目前市场上供应的软盘片不能适应更大范围的温湿 度 变化，切向角(磁头读写缝隙与主轴径向之间的夹角称为切向角。切向角越小，读写精度越高）误差较大以及盘片夹紧机构误差等引起磁 道偏离的原因，在美国不少公司还不能生产出十分可靠的1.6MB小软盘机。日本在 96TPI 软盘技术处于领先地位，发展很快。从1985年起大量生产为IBMPC/AT配套。日本生产96TPI(1MB和16.6MB)小软盘机的工厂，至少有十五家。美国Shugart公司也只是在获得日本在美的三菱通迅工业公司的许可，生产与Y·E-DATA公司的YD-380相似的SA465型1.6MB小软盘机。

5.25英寸软盘机，采用伺服控制技术，也是进一步提高道密度的有效办法。Amlyn公司把它的 1560 型 5.25 英寸软盘机的外圈磁道作为伺服磁道，根据从伺服道上不同方向，读出与盘片上数据道偏离量(因温、湿度变化而引起)大致相同的道偏离量，控制步进电机对磁头作微定位，修正因温、湿度变化而引起的盘片尺寸的变化，使道密度提高到170TPI，存储容量达 3.33MB。从硬盘机移植过来的扇段伺服技术，温、湿度变化而引起的道偏离量，对数据道和伺服道而言，两者基本相同，这就为提 高 道 密 度创造了条件。美国Drivetec 公司在320型小软盘机中采用二个步进电机(一个作粗定位用，另一个作精定位)的扇段伺服技术，道密度提高到192TPI，存储容量达3.3MB。美国Iomega公司将小温盘机中的转臂式音圈电机定位机构用于5.25英寸软盘机，道密度高达434TPI，存储容量达5.25MB。

继续减薄磁介质厚度，改进编码方式，仍是5.25英寸软盘机提高位密度增大容量的有效途径。例如Verbatim 公司的 5MB5.25 英寸软盘机，其介质厚度仅 1μm，位密度为10700BPI。85年欧洲GmbH的日立公司推出容量为6.5MB的FD541型半高5.25软盘机，采用 2,7 码，位密度达 29560BPI。

虽然从技术上看，5.25英寸软盘机的容量还在不断增长，但从作为商品来说，增长速度最快的还数有人称之为 5.25 英寸软盘机的第四代产品——1.6MB。1983 年还占全部5.25英寸软盘机的3.2%，预计至1987年将占75%。

近几年，由于软盘机的迅速发展，生产软盘机的厂商不断增加，据统计，全世界约有100家软盘机厂。日本，在这几年里，大力发展软盘机工业，已逐 步 取代本来一直处于软盘机工业和技术领先地位的美国，而支配软盘机市场。1984年，日本软盘机产量为1000万台；1985年，日本软盘机的销售量占全世界软盘机销售量的70%，日本生产软盘机的厂家已占全世界厂家总数的40%。尤其是微型软盘机，几乎已由日本控制了整个市场。他们认为微型温盘机取代小温盘机，只是时间问题而已，是软盘机发 展 的 必然趋势。当前微型软盘机在日本重点发展1MB以上的微型软盘机。在1985年索尼公司推出与目前1.6MB小温盘机兼容的 3.5英寸1.6MB 微型软盘机后。日本又有五家公司相继推出类似产品。尤其是由于 IBM公司看准了微型软盘机这个发展方向，在它 的 便携式个人机，PC，PC/XT，PC/AT 机，均先用了 3.5 英寸微型软盘机以后，大大地推动了微型软盘机的发展。预计至88年微型软盘机的销售量可能接近甚至会超过5.25英寸软盘机的

销售量。

1977年，日本东北大学岩崎俊一教授提出提出并论证了适用于高记录密度的垂直记录(因磁化区比纵向记录原理的磁化区窄得多)理论以后的一系列研究工作，给5.25英寸软盘机和微型软盘机增大容量(由于技术上的原因，垂直记录技术首先用于软盘机)，注入新的活力。1982年，日本东芝首先推出容量为3MB的3.5英寸垂直记录微型软盘机。索尼、松下和日立均已出售过4MB的3.5英寸垂直记录软盘驱样机。1985年，东芝曾宣布使用钡铁氧溅射介质，介质厚度0 5μm的8MB垂直记录软盘机。1985年，日立先后推出容量为15MB(100KBPI，300TPI)的3.5英寸垂直记录软盘机试制品和容量为34MB(200TPI，100KBPI)5.25英寸垂直记录软盘机。然而，由于垂直记录的批量生产关尚未突破，商品化尚需一定时间。

第二篇　软盘机

本篇着重介绍5.25英寸软盘机的结构原理。并以TM-100、FD-55B和YD-580为例，介绍它的结构组成、电路原理、输入输出信号及接口技术。以及在使用中可能遇到的问题，常见故障分析和排除方法等。

第四章　软盘机的机械结构

自从第一台软盘机于1970年问世以来，使用范围不断扩大，技术也日趋完善，现已成为微型计算机系统不可缺少的组成部分。从某种意义上说："没有软盘机，就没有微型计算机的普及和应用"。从功能上讲，它不仅可以作为小型计算机或微型计算机的外存储器，也可作为硬盘机的后援设备、计算机的源数据输入装置、各种智能终端的外存储器等。

第一节　软盘机的工作原理

软盘机由软盘片、磁头和磁头驱动机构及磁头加载机构、盘片驱动机构、各种检测机构及电路板等组成。如图4-1所示。

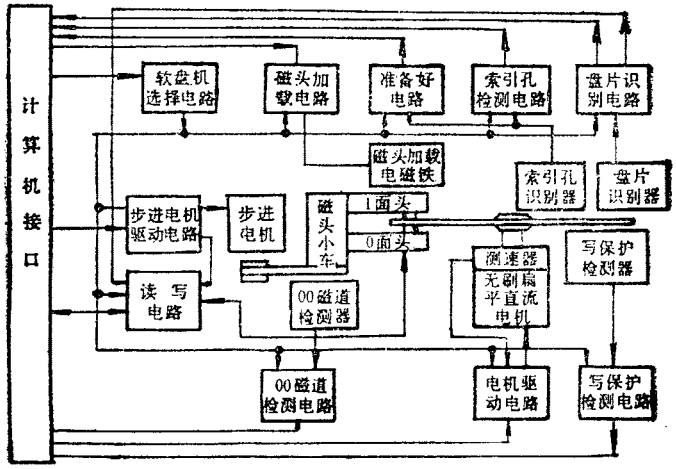


图4-1　软盘机的框图

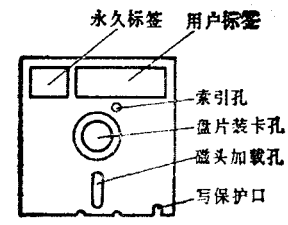


图4-2　软盘片外形图

(1) 软盘片　软盘片由盘片和盘套组成。盘片是记录信息的介质，相当于作记录用

的纸。象一张普通的塑料唱片，如图4-2所示。它的基体用聚酯薄膜制成。在工作表面上涂有磁性氧化物。在有效的环形记录面内，可以记录40-80条磁道，存储180KB至1200KB的信息。盘片封装在方形的柔软保护套中。

（2）磁头　磁头相当于作记录的笔，在磁盘机中是非常重要的部件。它由高导磁率的铁氧体经过精密加工制成，十分娇贵。使用和维修时必须细心。

（3）盘片驱动机构　盘片驱动机构是将电机的转动变成盘片转动的机构。早期的软盘机用同步电机通过皮带驱动。近期的软盘机用直流无刷电机直接驱动。IBM-PC/XT配置的半高度软盘机全部用无刷直流电机驱动。

（4）磁头驱动机构　磁头驱动机构将步进电机的转动变换成磁头的直线运动的装置。早期产品(如SA400L)用步进电机驱动凸轮和滚珠使磁头移动。近期的产品(如TM-100、SA455)用步进电机驱动钢带使磁头移动。

（5）磁头加载机构　加载机构由加载电磁铁和加载臂组成。其任务是将磁头压向盘片，使磁头在读写时和盘片接触良好，保证软盘机可靠地进行信息存取。加载力一般在10～20g的范围内。

（6）各种检测机构　检测机构包括有索引信号检测、“00”道信号检测和写保护信号检测等。早期的产品常用微动开关。近期产品多采用发光二极管和砷化镓光电三极管组成的光电检测机构。

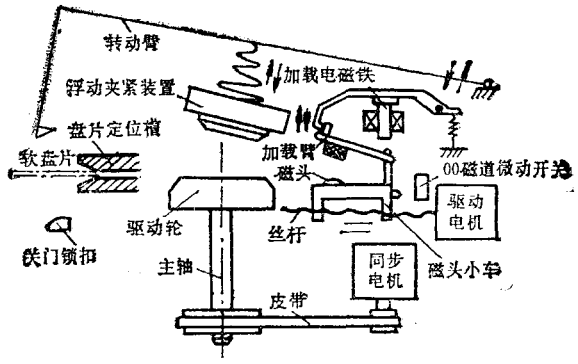


图4-3　软盘机传动框图

（7）电路板　电路板包含读写电路，电机驱动电路、磁头加载电路、软盘机选择电路、“准备好”电路、盘片识别电路和索引孔、“00”磁道、写保护等检测电路组成。

软盘机传动框图如图4-3所示。在软盘机开门机构打开时，软盘片通过盘片定位槽插入软盘机，并基本定位于主轴中心。在关闭开门机构时，与开门机构联动的浮动夹紧装置，把盘片夹紧在驱动轮上。由于关门锁扣的锁紧作用，在工作过程中不会发生盘片松动。驱动电机带动主轴旋转并使盘片在盘套内转动。磁头安装在磁头小车上，步进电机通过传动机构把它的转角变换成磁头的位移。步进电机每走一步，磁头移动一个磁道。软盘机在进行读写时，盘片和磁头是接触的。为使两者接触良好，加载机构中加载电磁铁通电以后，加载臂就以它的软垫将磁头压向盘片。电子电路通过检测“00”磁道、索引、写保护信号，将信息传递给软盘机接口。接口根据主机的命令对软盘机进行寻道和读写操作。

软磁盘机的型号不同，它们的技术指标也不相同。现以IBM PC配置的YD-580型半高度软盘机为例，列出它的主要技术指标如下：

（1）存储密度　道密度：48TPI(道/英寸)位密度：5876BPI(位/英寸)

（2）存储容量　非格式化容量：500KB格式化容量：360KB

(3) 平均存取时间：80ms

(4) 数据传输率：250Kb/s(千位/秒)。

软盘机的种类繁多、型号各异。就分类方法来讲，就有十余种之多。常用的分类方法有：

(1) 按记录面分：有单面软盘机和双面软盘机。

(2) 按软盘尺寸分：有3英寸、3.5英寸、5.25英寸和8英寸等四种。目前应用最广的是5.25英寸软盘机。8英寸磁盘机使用逐渐减少。3英寸和3.5英寸对软盘机开始大量使用。

(3) 按外型高度分：有标准高、1/2高和1/3高软盘机之分。

IBMPC 微型计算机系统配套使用的有 TM-100、FD-55B、SA455 和 YD-580 等型号。

第二节　软盘片的结构和分类

软盘片是软盘机的存储介质。它由圆形盘片和方形保护套两部分组成。

(1) 盘片　它是由60～100μm厚的聚酯薄膜作基底，再涂一层厚 2～3μm 的金属氧化物(γ-Fe_2O_3)构成。它依据磁性材料的磁化方向来存储信息。在制造时，盘片的磁层平整度、电磁性能、温度和湿度的膨胀系数，以及磁头和盘片间的耐磨性能均有一定要求，盘片始终放在保护套内。

(2) 保护套　保护套的作用主要有三：一是保护盘片表面免受划伤；二是擦试盘片表面使其清洁，减小软盘读写错误；三是防止静电放电时产生火花干扰，保证软盘机正常工作。

保护套的结构大体分两层。外壳层用薄塑料板、纸板制成；内衬层用柔软的防静电的疏松材料，如无纺布、特种纸制作。保护套上有三个孔。一个是长方形孔，供磁头找道和读写用。另一个是盘片装卡孔(中心位置)是为盘片定位用。它通过盘片夹紧机构将盘片夹住。在主轴电机的驱动下，盘片可以在保护套内自由转动。第三个是索引孔。软盘机中有光电检测装置。当盘片旋转时，允许光通过索引检测孔来产生索引信号，检测磁道起始位置。在保护套的边缘还有一个写保护缺口。在某些场合，不允许破坏软盘片上的文件，只准读不准写时，可以用封住写保护缺口来实现。保护套上还有两个半圆形的小缺口。它们是为消除保护套应力而设置的。另外，保护套上贴有两个标签。一个是用来说明软盘片的型号、规格和制造厂家的永久性标签。另一个是为用户提供的用户标签。用户可以在这个用户标签上填写盘片上文件名称、更改日期、用在哪个系统等。

目前软盘片的种类规格很多。从功能分：有供操作人员使用的，称工作盘片。有供制造和维修人员使用的，称校准盘片。有供清洗用的，称清洗盘片。

(1) 工作盘片　按记录面分有单面盘片和双面盘片；按记录密度分有普通密度盘片(位密度5876BPI，道密度48TPI)、倍道密度盘片(位密度5922BPI，道密度96TPI)和高密度盘片(位密度9650BPI，道密度96TPI)；按区段分有软分段和硬分段盘片。

IBM PC系统使用的是双面、普通密度、软分段的软盘片。常用的有 3M、DYSAN、Maxell 和 BASF 等公司的产品。

5.25英寸工作盘片在同一圆柱号的0面和1面的磁道地址(物理地址)相差四个磁道。

(2) 校准盘片　校准盘片是用于测量和校准软盘机的一种软盘片。在它的某些磁道上预先记录测量用的特殊信息。当被测软盘机对校准盘片进行读出时，由示波器或其它仪器可以测得软盘机的机电参数(磁头和磁道位置和角度、读出幅度等)在装配和维修软盘机时，校准盘片是必不可少的测量工具。常用的5.25英寸校准盘片有两种：

① 5.25英寸单面校准盘片。如SA124校准盘片是用来校准5.25英寸单面软盘机的。它在“16”磁道上提供有磁头定位信息；在“01”磁道上提供有索引定时信息；在“00”道和“34”道上写有全“1”信息。

② 5.25英寸双面校准盘片。它是用来校准5.25英寸双面软盘机的，例如SA129校准盘片。除了具有SA124校准盘片的各种信息外，在“33”道上还刻写有磁头方位角的调整和校验信息。

(3) 清洗盘片　它是用来清洗磁头的。常用的有两种。一种是早先的湿式清洗盘片。在清洗时，要加入一种清洗液。清洗液有毒，对人体有害，使用时应注意。另一种是最近推出的一种无毒式干式清洗盘片，很受用户欢迎。

软盘片的使用和保管都有相应的要求，其使用条件为：

温度：10° ～50℃；相对湿度：20～80%；湿球温度：29℃以下；最大温度变化率：20℃/小时；最大磁场强度：50 Oe。

软盘片对温度和湿度都比较敏感。如果不满足温度和湿度条件，就会影响软盘片的正常工作和使用寿命。温度超过50℃时，塑料外套容易变形，磁头和盘片的接触变差，容易造成读写错误。如果在高温下工作，盘片的磨损亦将加剧。如果在太干燥的环境下工作，盘片容易带静电，误码率也会急剧增加。所以在使用软盘片时应尽量符合它的环境要求。

在非使用条件下保存的软盘片，使用之前最好在使用条件下放置24小时以后再用。其保存条件为：

温度：4～53℃；相对湿度：8～83%；最大温度变化率：20℃/小时；最大磁场强度：50 Oe。

保存软盘片，应将其装入纸套，并垂直放置。

其运输条件为：

温度：－40～50℃；相对湿度：8～90%；最大温度变化率：20℃/小时；最大磁场强度：50 Oe

使用软盘片时，除了应符合使用条件外，还必须注意下列事项：

(1) 不要用手去摸暴露在塑料外套上的盘片，以免手上的油脂和灰尘沾污盘片和划伤盘片。

(2) 严禁用圆珠笔书写已贴在软盘片上的标签。

(3) 不要弯曲软盘片，因为外套一旦变形，就很难保证读写正确。

(4) 不要将书籍等较重物体压在软盘片上。

(5) 把软盘片插到软盘机中时，一定要将软盘片插到底，否则在关磁盘机门时容易把盘片夹坏。

(6) 当软盘片不使用时，应将其放入纸套内，放置时应垂直放。斜放时，外套容

易变形。

第三节　读写磁头的结构和性能

磁头的核心部分是读写磁头和抹磁头。读写磁头包括读写铁芯和读写线圈。抹磁头包括两个抹铁芯和两个抹线圈。磁头由铁氧体材料制成，它与盘片直接接触。磁头的表面被设计成能从盘片的磁表面得到最大转换效率的信号，并且使磁头和盘片磨损最小。

以TM-100软盘机为例，它是一种带有隧道抹的读写磁头。隧道抹在数据磁道之间建立抹去区域。这样使软盘机在盘片和软盘机之间的公差正常范围内，不会降低信噪比，并确保软盘片的互换性。

磁头的读写线图和抹线圈的连接图如图4-4所示。

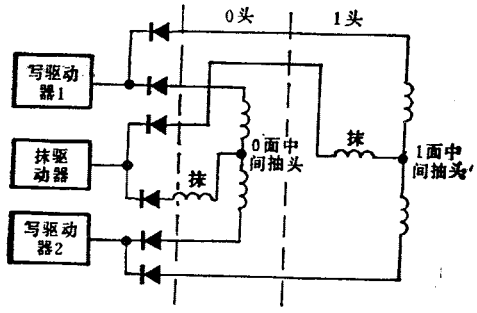


图4-4　读写磁头

在写操作时，磁头抹去磁道的边缘，使记录数据磁道宽度不超过0.012英寸（0.3048mm）。每一位的写入都将交替使两个读写线圈导通，使得流过读写头的电流方向改变，并使一位磁通单元翻转。通过读写磁头二个线圈之一的电流将抹除原记录在盘面上的数据，记录新的信息。

在读操作时，当磁通方向变化的表面通过间隙下面时，在读写磁头的两线圈之一将产生电流，并产生电压输出脉冲。当下一个数据通过间隙时，在记录表面发生另一个磁通变化，这将在另一个线圈中产生电流而这个线圈将产生另一个相反极性的输出脉冲。

第四节　磁头定位机构

磁头定位机构的主要任务，是将磁头送到指定的磁道位置，并要求它定位准确、迅速、结构简单。

一、定位机构

按驱动和控制方式，磁头定位机构可分为步进电机开环控制和音圈电机闭环控制两种。前者虽然在定位精度和定位速度方面不如后者，但结构简单，控制方便。目前为大部分软盘机都采用前者。而后者只在大容量软盘机中采用。现将它们的结构原理分别介绍如下：

1．丝杠传动定位机构

主要用在单面软盘机中（在早期的双面软盘机中亦采用过）。这种定位机构利用丝杠作传动机构，如图4-5所示。多数丝杠做成四头梯形螺纹，它把步进电机的转角转变成磁头小车的直线位移。当步进电机每转过一个步距角（15°），磁头小车就位移一个磁道的距离（0.529mm）。

为提高传动精度，消除丝杠与螺母（小车）间在正反转时可能出现的间隙，常采用消

隙螺母和消隙弹簧。如图4-6示。由图可见，丝杠上旋有两个螺母，一个是消隙螺母4，它受限位销5的限制，不能相对于小车2转动在小车2和消隙螺母4之间，撑有一个消隙弹簧3，在该弹簧的作用下，使得丝杠螺纹的两个侧面分别紧压在小车和消隙螺母螺纹的侧面上。这样无论丝杠如何转动，小车螺纹和丝杠螺纹之间的传动间隙将缩小到接近于零。为减轻小车的重量，减小负载惯量以及简化小车的润滑系统等，小车通常用工程塑料制造。

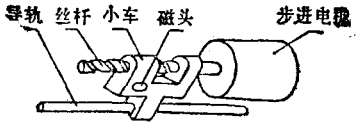


图4-5　步进电机丝杠传动定位机构

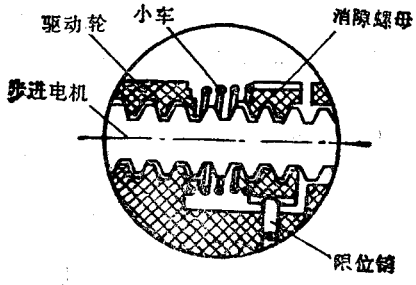


图4-6　消隙机构示意图

丝杠传动定位机构的缺点是传动速度低。因为选用的步进电机步距角较大，并要克服较大的负载惯量。步进电机的启动频率较低，一般步进电机每步进一个磁道的平均时间为6～10ms。

2．钢带传动定位机构

钢带传动定位机构，目前在5.25英寸双面软盘机中用得很多。它采用一条合金钢带作传动件。图4-7示为“O”型结构。钢带用螺钉固定在步进电机的驱动轮上，并由涨紧轮涨紧。磁头小车又用螺钉固定在钢带上。当步进电机转动时，小车随着钢带，沿导轮作直线运动。步进电机每走一步，小车移过一个磁道间距。由于钢带是固定在步进电机上驱动轮的圆周上的，这就限制了步进电机的转角范围，使它不允许超过180°。在这个范围内，步进电机应走77步以上，因此，步进角不能小于2°。目前在这类结构中被选用的步进电机，其步距角均为1.8°。根据磁道间距和步距角的大小，步进电机轴上的驱动轮直径尺寸也基本被确定了。

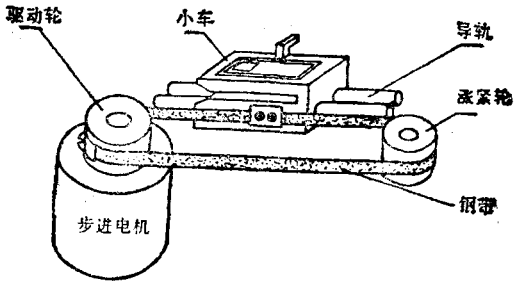


图4-7　步进电机钢带传动定位机构(一)

驱动轮的直径为 $D' = \frac{360°}{\theta} \cdot \frac{a}{\pi}$

式中，θ——步进电机步距角，其值为1.8°；

a——磁道间距，其值为0.529mm。

由上式得$D' \approx 33.69$mm，当取钢带厚度$\delta = 0.06$mm时，则驱动轮直径应为：

$D = D' - \delta = 33.69 - 0.06 = 33.63$(mm)

钢带传动定位机构的定位精度，主要取决于驱动轮直径尺寸的加工精度以及步进电机的步距角精度。通常要求步距角误差控制在+6% 以内。由于所选定的步距角较小（$\theta=1.8°$），步进电机的启动频率大为提高，因此定位速度较快，每移过一个磁道间距的平均时间大约为 3～6ms。

钢带传动的另一种结构形式如图 4-8 所示的“α”型结构。在钢带的中间部分用螺钉固定于步进电机的驱动轮上，钢带的两端分别在驱动轮上缠绕半圈后，再用螺钉固定在小车上。当步进电机转动时，钢带的一端被松开，另一端被拉紧，小车在钢带给予的推、拉力作用下，沿着导轨作直线运动。

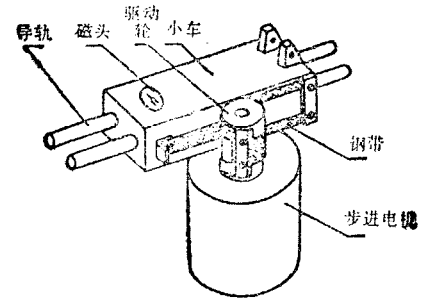


图4-8　步进电机钢带传动定位机构(二)

这类机构的驱动轮可以在 360° 转角范围内转动，所以选用步距角为 3.6° 的步进电机，驱动轮的直径为前一种结构的一半，

“α”型钢带传动机构由于结构简单，找道时间快，定位精度高，目前广泛应用于各种型号的软盘机。

3. 螺旋槽传动定位机构

螺旋槽传动定位机构比钢带传动定位机构要简单。但定位精度低，找道时间较长，它用在世界上第一台 5.25 英寸 SA400 型软盘机上，如图 4-9 所示。带有 V 形螺旋槽的驱动轮直接安装在步进电机的输出轴上，小车是通过一个弹性润动臂使其按螺旋槽的曲率半径变化规律运动。

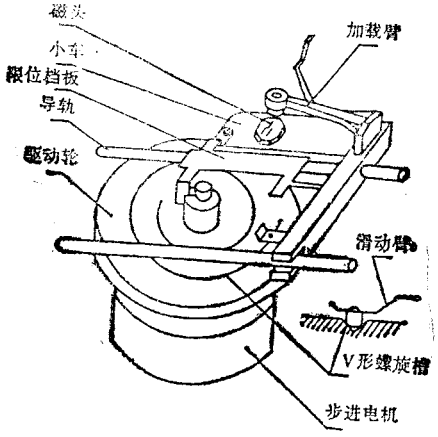


图4-9　螺旋槽轮导轴传动定位机构

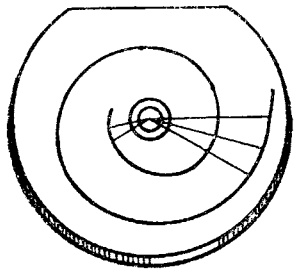


图4-10　驱动轮上的螺旋槽

螺旋槽传动定位机构如图 4-10 所示。当步进电机每走过一步时，螺旋槽半径尺寸在驱动轮的径向变化一个磁道间距。

道间距 $=|R_N-R_{N\pm1}|$ (mm)

式中 R_N——第N磁道的螺旋槽曲率半径

N——物理磁道号，为 0～34。

二、磁头加载机构

软盘机在读/写或找道过程中，磁头与盘片是接触的，加载机构的作用是保证磁头与盘片之间有良好的接触，其结构常由加载电磁铁和加载臂等组成。

1．单面软盘机加载机构

如图4-11示，电磁铁不通电时，加载臂被托板托起，磁头与盘片脱离接触。当进行读写数据时，电磁铁通电吸合，托板离开加载臂。加载臂在其右端的扭簧的作用下，

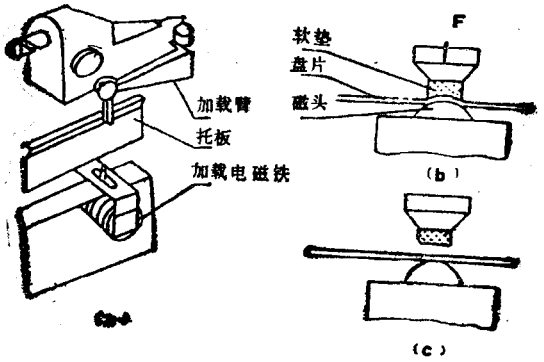


图4-11　单面软盘机磁头加载机构

(a)加载机构示意图；　(b)加载状态；　(c)卸载状态

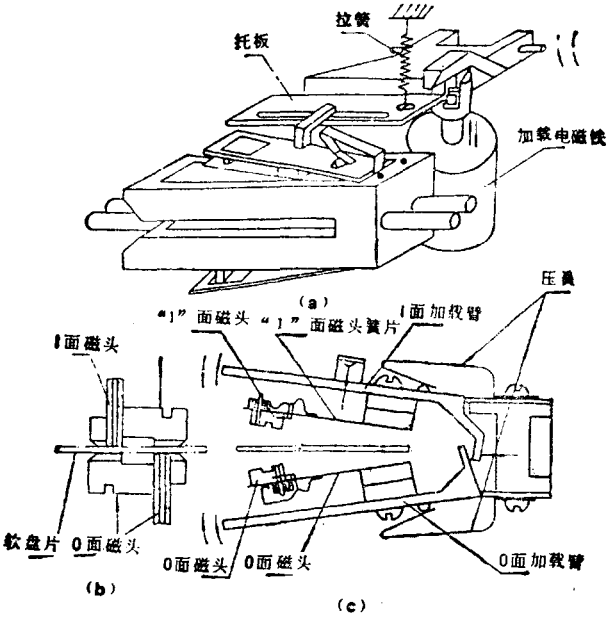


图4-12　双面软盘机磁头加载机构

(a)加载机构示意图　(b)磁头加载状态　(c)磁头卸载状态

使磁头和盘片接触。加载力约15～20g。

2．双面软盘机加载机构

双面软盘机磁头加载机构如图4-12所示，当电磁铁不通电时，在拉簧的作用下，使托板抬起并对"1"面加载臂施以F_1的力〔见图4-12(c)〕，同时，在"1"面加载臂的右端产生F_2的作用力，使"1"面加载臂和"0"面加臂分别向两边张开，随即带动簧片和磁头也分别向两边张开。此时，可插入软盘片。当加载电磁铁通电时，托板被电磁铁克服拉簧的力向下拉；使"1"面加载臂失去F_1的支持力，从

而在压簧的作用下，两个加载臂互相靠拢，磁头也合拢并接触盘片，如图 4-12 (b) 所示。其加载力 F 约为 8g。

第五节　盘片驱动机构

盘片驱动机构是将盘片快速而准确地定位于驱动轮的主轴中心位置。并使它以一定速度的匀速旋转。由盘片插入引导机构，主轴驱动轮系和盘片夹紧机构以及盘片弹射机构等几部分组成。

一、盘片插入引导机构

它的作用是对盘片起导向作用，使盘片初步定位在驱动轮的中心位置，以便能使夹紧机构把盘片夹紧在主轴上。其结构较简单，多数采用在机体的上下两边分别设置两条并行的导向槽。如图 4-13 所示。当盘片沿导向槽插入，并推动弹射架在限定位置时，盘片就处于驱动轮中心附近位置。

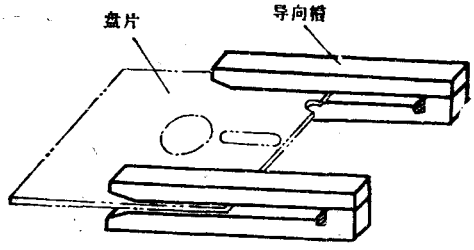


图4-13　盘片插入引导机构示意图

二、主轴驱动轮和盘片夹紧机构

1. 主轴驱动轮系

软盘片安装在主轴驱动轮上，当主轴驱动轮以一定转速旋转时，使盘片与磁头之间有相对运动。

5.25英寸软盘机的主轴转速为300转/分，主轴转速应均匀稳定，不应随负载和外界电压波动而变化。所以通常采用有刷电机或无刷直流电机来驱动。前者采用橡胶皮带作传动件，并将主轴上的皮带轮的转动惯量做得尽可能地大，使主轴减少震动，转速平稳。后者，结构简单，精度高，但是伺服控制电路较复杂。

2. 盘片夹紧机构

它的作用是把盘片迅速准确地定位在主轴驱动轮上，并使盘片随主轴旋转。下面介绍两种主要结构：

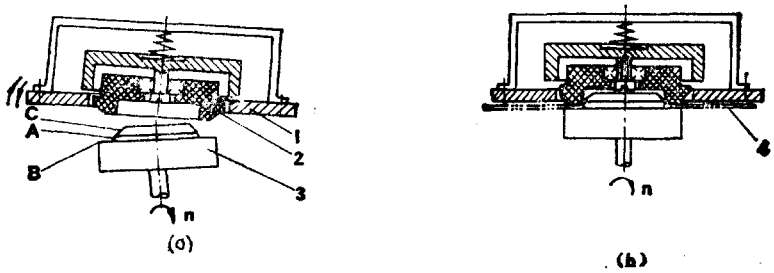


图4-14　圆柱形盘片压紧机构

(1) 圆柱形结构　如图5-14所示。将盘片安装定位于驱动轮3的圆柱面 A 上，圆锥面C起引导作用。当转动臂 1 下压(即关上软盘机的门机构)时，浮动式压紧轮 2 将盘片压紧在主轴驱动轮的B面上，使盘片与主轴驱动轮一起旋转。由于压紧轮 2 上的塔形压簧足以使盘片压紧。因此，不会使盘片与驱动轮之间产生相对滑动。当抬起转动臂(即打开门机构)时，压紧轮随之脱开驱动轮，盘片在弹射机构(图中未表示出)的作用下，被迅速弹出门外。

(2) 杯形结构　如图4-15所示，将主轴驱动轮作成杯形，压紧轮带有锥体，而且大多数软盘机的压紧轮是采用图中所示的爪形的弹性结构。安装盘片时，将盘片插入到驱动轮4与压紧轮3之间。当转动臂1下压时，压紧轮的锥体部分被压到驱动轮的端面 A 上，并使盘片中心定位于主轴旋转中心，当开启门机构(图中未表示出)时，压紧轮脱开驱动轮，盘片被弹射机构弹出，

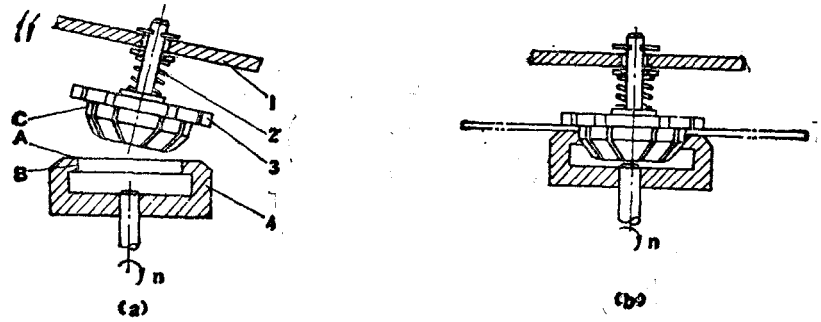


图4-15　环形盘片压紧机构

第五章　软盘机的电路原理

软盘机的电路应能实现下列功能：

(1) 正确地写入和读出二进制数字信息；

(2) 把读写磁头移动到指定的磁道上；

(3) 识别来自软盘控制器(即适配器)的控制信息，产生软盘机的状态信号。

要实现上述功能，软盘机应有下列主要电路：

(1) 写入电路；

(2) 读出电路；

(3) 磁头定位电路；

(4) 各种状态信号的检测电路。

必须指出，每一种电路的形式可以是多种多样的，但它们的功能基本相同。本章除介绍它们的功能外，还介绍一些实用电路，通过分析这些电路，可以加深理解各部分电路的要求和实现方法。

第一节　写 入 电 路

写入电路是根据写入数据的要求产生相应的写电流。写入电路的原理框图如图 5-1(a)所示。框图中的各点波形如图 5-1(b) 所示。

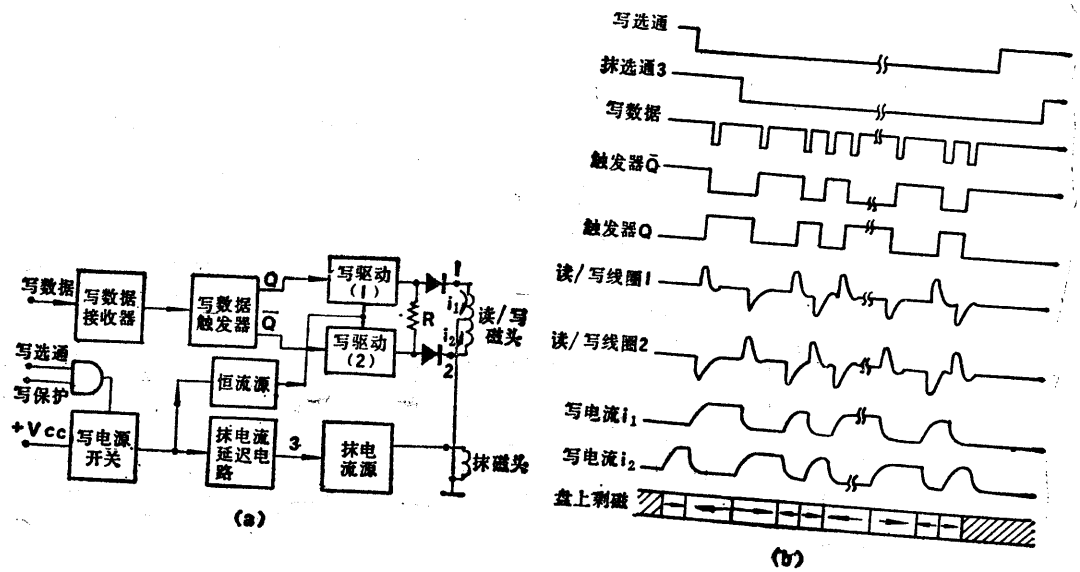


图5-1　写入电路原理框图及波形图

在写数据时，软盘机在控制器的作用下发出写选通信号。如果此时软盘片不是处在写保护的情况下，接通写电源开关。写入数据通过写数据接收器整形之后加到写数据触发器（D 触发器或 J-K 触发器）产生两个电流开关信号。一个开关信号控制 写驱动电路(1)；另一个控制写驱动电路(2)，使得读写磁头的两个线圈轮流导通，在软盘片上产生极性相反的磁化单元。

写电流开关接通之后，由于读写磁头的读写缝隙和抹磁头的抹缝不是在一条线上，所以抹电流需要延迟一般时间再去启动抹电流源。当写选通信号切断之后，抹磁头线圈中的电流要延迟一段时间后才被切断。

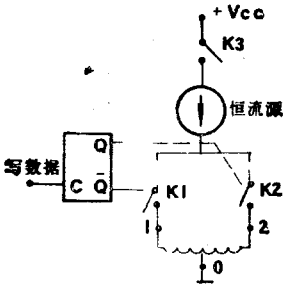


图5-2　数据写入电路示意图

数据写入电路的示意图如图 5-2 所示。在软盘片上写入信息时，由软盘控制器送来写选通信号，在它的控制下，接通电源开关 K_3，使恒流源产生恒定电流。与此同时，写数据输入到“写数据触发器”的时钟端，触发器接成计数状态。因此，每来一个写数据脉冲，它的状态改变一次。K_1 和 K_2 这两个开关是受“写数据触发器”控制的。Q 和 $\bar{Q}$ 分别控制 K_1 和 K_2 的接通与断开。如触发器 Q 为高，则 K_1 接通，K_2 断开，电流经 K_1 进入读写线圈的一端，与地构成一个回路。如果 Q

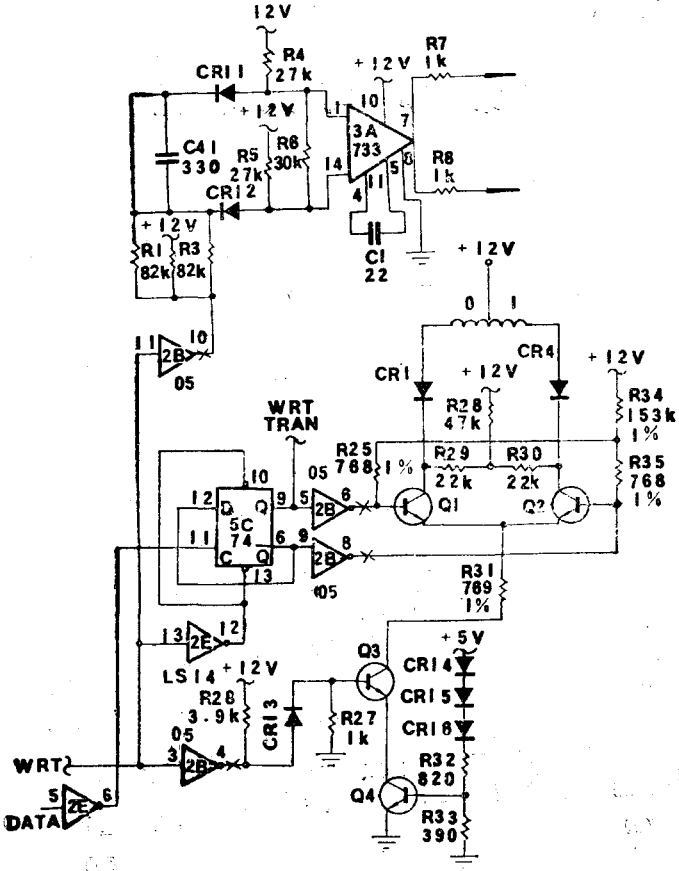


图5-3　TM-100型软盘机写入电路

为低，则 K_1 断开，K_2 接通，电流经 K_2 进入写线圈的 2 端，与地构成一个回路。因此，“写数据触发器”输出端 Q 为低时和 $\overline{Q}$ 为高时，写电流极性相反。

由此可知，每来一个写数据脉冲 “写数据触发器”的状态改变一次，这就满足了调频制对写电流变化的要求。

图5-3是TM-100型软盘机的写入电路。图中Q_3相当于图5-2中的K_3；Q_1和Q_2相当于开关K_1和K_2；Q_4是用来产生恒流源；CR_1和CR_4是隔离二极管。因为磁头是读写共用的，在读出时需把读出电路和写入电路隔开，以免写入电路对读出信号产生影响。5C74为“写波形发生器”电路，可将写数据变成写波形。

“写允许(N WRT)”应符合下列条件：

(1) 该软磁盘机已被软盘控制器选中；

(2) 写选通信号处于低电平；

(3) 软盘片未处在写保护状态；

(4) 软盘机的门已关闭；

(5) 磁头已定位到指定的位置。

当“写允许(N WRT)”(图5-3中的WRT)信号满足上述条件时，首先经集电极开路门(2B-10)反相，使读出电路和写入电路分开，防止写电流窜入读出电路将“前置放大器”(μA733)损坏；第二，经“反相器”(2E-12)将“D触发器”释放，变成计数状态；第三，经“反相器”(2B-4)使Q_3导通，使Q_3和Q_4形成恒流通路，保证晶体管Q_1和Q_2正常工作的电流。

当“写数据(WRITE DATA)”(图5-3中的DATA)到来时，利用写数据脉冲的前沿，触发“D触发器”(5C)，通过5C计数，从“D触发器”Q端$\overline{Q}$和端输出写波形，再经过“反相器”(2B)，分别去控制Q_1和Q_2的基极，使产生流经读写磁头线圈的写电流。例如，某一时刻“写数据”(WRITE DATA)使触发器Q端为高，则$\overline{Q}$端为低，那么Q_2导通，写电流从读写磁头线圈1流入地。由于Q端为高，“反相器”(2B-6)输出端为低电位，使Q_1管截止。当下一个写数据到来时，如使“D触发器”的Q端由高变成低，这时Q_2管截止，Q_1管导通，“写电流”从读写磁头线圈0流入地。依此类推，将整个数字信息序列写入软盘片上。

二、抹电路

当写入数字信息时，抹磁头线圈通一恒定的抹电流。铁氧体磁头的抹电流一般设计为80mA左右。读写磁头一边写入数据信息，抹磁头一边修整磁道。抹磁头的作用如图5-4所示。抹磁头需要解决一个问题，即何时通或断抹电流。写入数据总是从一个区段的起始端开始。由磁道格式可知，当写磁头的写缝在数据段的起始部分时，抹磁头正处在该数据段的地址区域。因此，在磁头定位精度不够高情况下，若在“写选通”信号一开始就通上抹电流，就有可能把地址区域上的信息抹去。为解决这个问题，就需要将“写选通”信号延迟一段时间再通上抹电流。同样，若在“写选通”信号刚结束就马上切断抹

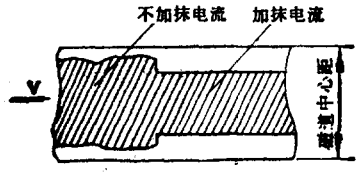


图5-4 抹磁头的作用

电流，就会出现一段未经抹头修整的磁道。这段磁道上的信息就可能产生道间干扰。所以要在写选通信号变成无效之后延迟一段时间，再切断抹电流。

“抹电流选通”信号前后沿延迟时间与磁头的读写缝与抹头的抹缝之间的距离有关。在工程上前沿的延迟时间，应由外磁道的线速度来确定；后沿的延迟时间应由内磁道的线速度来确定。

其中“写允许(N WRT)” = $\overline{\text{写保护}\cdot\text{写选通}\cdot\text{设备选中}}$

“抹允许(N ERASE)” = $3C_{-12}\cdot 3C_{-13}\cdot$设备选中

三、选头电路

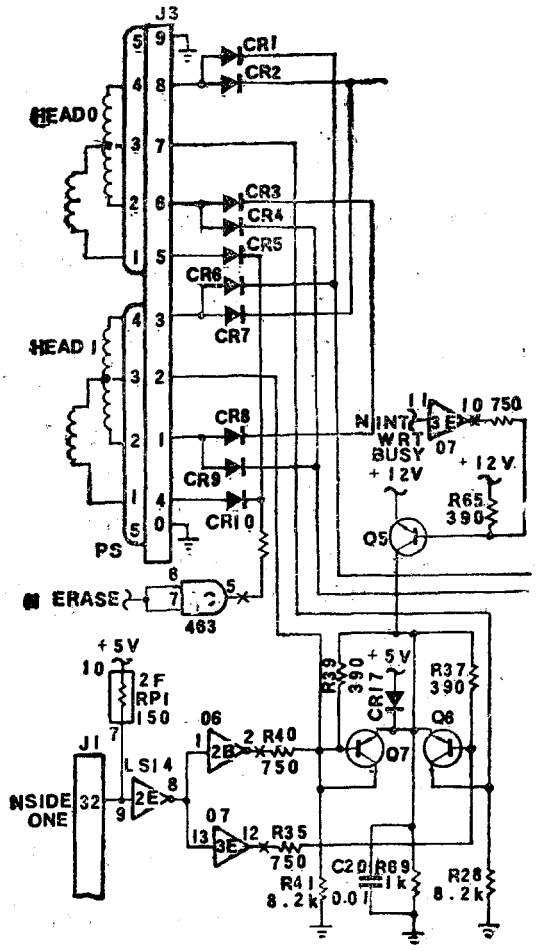


图5-5 选头电路

对于单面软盘机来说，只有一只磁头，用不着选头电路。但是对于双面软盘机来说，它有两只磁头，不可能同时工作。在同一时刻只能一只磁头工作，要么“0”面磁头，或要么“1”面磁头。因此，必须有选头电路。选头电路必须准确可靠。在这里，以TM-100型软盘机选头电路为例作简单介绍，如图5-5所示。

选择“0”面磁头或“1”面磁头的控制由三极管Q_6与Q_7组成。其中Q_6的集电极接“0”面磁头的中心抽头上。Q_7的集电极接“1”面磁头的中心抽头上。若“面选”（N SIDE ONE）信号=1时，则Q_6的基极为低电平。Q_6管导通。+5V电压通过CR_{17}二极管降压0.7V，加到Q_6管的发射极，使Q_6管的集电极电压大约在4.2V左右，即选中“0”面磁头。与此同时，Q_7管的基极为高电平，Q_7管截止。“1”面磁头的中心线经过R_{41}接地。CR_6、CR_7、CR_8、CR_9与读写/抹电路隔开。相反，若“N SIDE ONE”=0，则Q_6管截止，Q_7管导通，这时必然选中“1”面磁头。

当内部“不写忙”(N INT WRT BUSY)信号=1时，Q_5管截止，不影响Q_6管和Q_7管的集电极电平，不改变“0”面磁头或“1”面磁头的中心抽头电压值。当“N INT WRT BUSY”信号=0时(即电路写数据时)，Q_5管导通。使Q_6管(或Q_7管)的发射极为+12V，导致CR_{17}反向截止。Q_6管(或Q_7管)导通时，Q_6管(或Q_7管)的集电极为+12V，即“0”面头(或1面头)中心插头加上+12V，使写电流流过写磁头线圈，将数据写在软盘

片上。CR_5(或CR_{10})接抹除信号控制。当N ERRSE时=1,不抹除；反之，N ERASE=0时，则抹除。

第二节　读出电路

一、读出电路原理

读出电路的功能是将盘片上的信息读出,并还原成与写入脉冲完全相同的数据脉冲。读出电路的基本组成如图5-6(a)所示。它的工作波形如图5-6(b)所示。

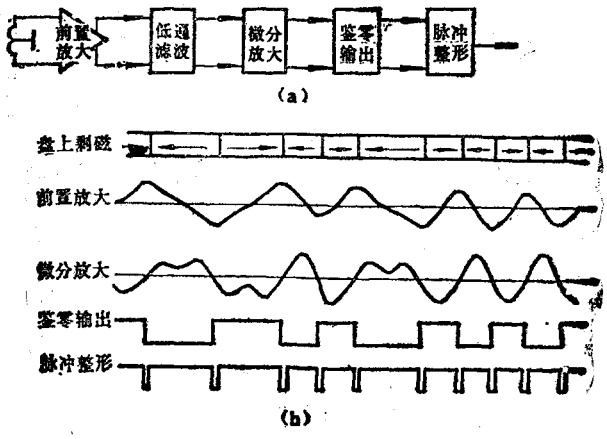


图5-6　读电路框图及波形图

读出电路主要由前置放大器、低通滤波器、微分放大器、鉴零器、脉冲整形电路组成。有些读出电路还有假零点消除电路。在读出时，由读写磁头感应出的微弱信号，经过前置放大器放大，使有害的高频噪音信号由低通滤波器滤掉。低通滤波器的输出送到微分放大器进行微分，使读出信号的峰点变成零点，同时对高频信号进行补偿。微分放大器的输出经过鉴零器送到脉冲整形电路。

图5-7示出了TM-100型软盘机的实际读出电路。该电路所示的参数适合于改进调频制记录方式，所用电源为+5V和12V两种。

图中的“0”面控制和“1”面控制信号是用来控制“0”面磁头和“1”面磁头的读和写。当“0”面磁头要读出时，“0”面控制信号为4.2V，“1”面控制信号为“低”。反之，“1”面磁头要读出时，“1”面控制信号为4.2V。“0”面控制信号为低。

二、前置放大器与磁头的连接

由于磁头是读写共用的磁头，写入和读出都是用同一个线圈，这就需要考虑磁头和放大器之间的联接问题。

从图5-8中可以看到，当写入数字信息时，读写线圈的两端均有高达十几伏的电势。如果将放大器直接接到磁头的两端，就会有峰-峰值高达30V左右的差动电压加到放大器的输入端。而放大器输入级的反向耐压只有几伏，这势必会损坏放大器。因此，必须加保护措施。

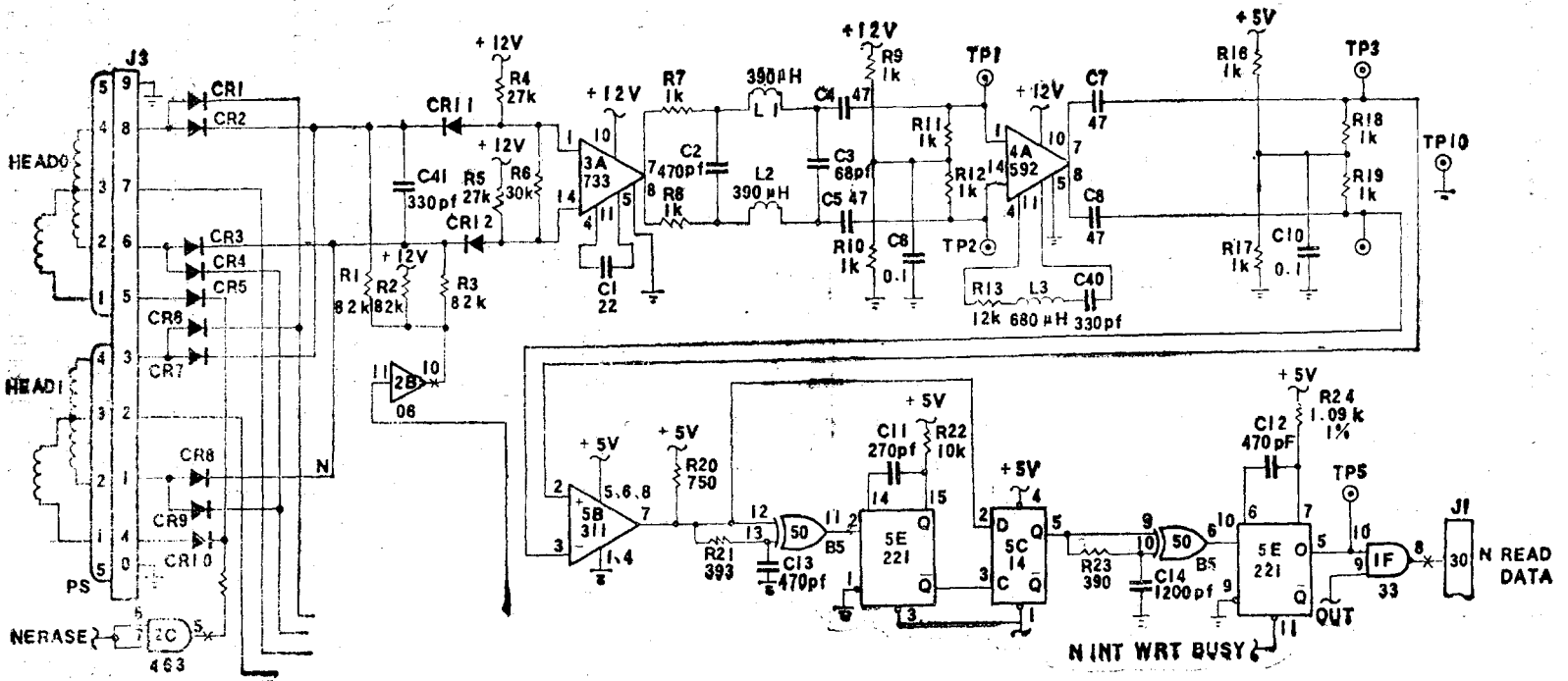


图5-7 TM-100型软磁盘机读写电路

图 5-8 所示的原理图是解决这个问题的一种方案。在该方案中，在读写磁头和放大器之间串入了两个P沟道的结型场效应晶体管，它们相当于开关。当写入时，由“写选通”产生的控制信号经集电极开路门电平转换之后把场效应管关断，使放大器和磁头断开，从而保护了放大器。当读出时，场效应管导通，磁头的读出信号迅速地送到放大器的输入端。对图5-8中两个场效应晶体管的要求是关断时源极和漏板之间的电阻要大，导通时电阻要小。

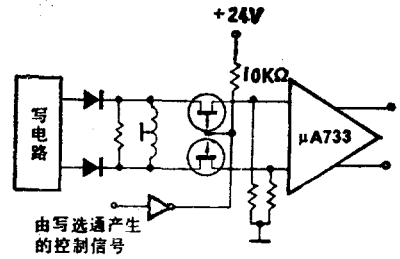


图5-8 放大器和磁头的联接

在软盘机中，常采用二极管来保护放大器。如图5-5所示。写入时，由于二极管的隔离作用，保证了加在放大器输入端的电压不超过它所能承受的反向电压。

放大器和磁头间除了需要加保护措施，在工艺上也必须十分注意。如某些磁头线圈中心抽头的接地点要尽量避免和大信号的接地点构成回路，以免引起干扰。磁头引出线的屏蔽线的接地方式也必须注意。

三、前置放大器和低通滤波器

前置放大器的作用是将来自读写磁头的微弱信号不失真地进行放大。前置放大器应能满足下述要求。

(1) 具有足够大的放大倍数，一般是40～50dB左右。放大倍数太大容易使输出饱和，造成信号失真。

(2) 要有足够宽的频带。放大器的放大倍数是频率的函数。它对某个频段的信号，有大致相同的放大倍数。而对某些频段的信号放大能力很差。这就要针对读出信号的频率，对放大器提出一个基本要求。常见的记录方式，对放大器通频带的最低要求，如表5-1所示。

表5-1 放大器通频带的最低要求

记录方式	调频制	改进调频制
最大和最小翻转间隔	$T_0 \sim \frac{T_0}{2}$	$2T_0 \sim T_0$
记录脉冲频率	$f_0 \sim 2f_0$	$\frac{f_0}{2} \sim f_0$
放大器的通频带	$\frac{f_0}{2} \sim f_0$	$\frac{f_0}{4} \sim \frac{f_0}{2}$

表中T_0为位周期，$f_0 = 1/T_0$

(3) 放大器的输入阻抗应能和磁头内阻相匹配，使电压传输效率最高。放大器的输入阻抗实际上就是磁头的负载。磁头的内阻是感性的。如果放大器的内阻太小，不仅电压传输效率低，而且对读出信号中各种不同频率的信号的相位移也不同，相当于增加了

读出信号的峰点漂移，这是应当避免的。

(4) 抗干扰能力强。这里主要是指抗共模干扰能力强，这是因为磁头和读出放大器之间有一段较长的距离，引线长容易引进共模干扰。

除上述要求之外，放大器的稳定可靠是十分重要的。前置放大器一般都采用线性集成电路，例如μA733宽频带放大器能满足上述要求。

前置放大器的输出信号所包含的高频噪声及干扰信号由低通滤波器滤掉。低通滤波器由RLC组成，或RC组成。通频带的上限频率一般设计在3～5f_0左右。

在倍密度的情况下，由于磁头分辨力高，在外磁道上的读出信号经微分后有可能出现假零点。解决这个问题的办法之一，可以通过改变滤波器的通频带宽来消除假零点。磁头分辨力高，通频带可以设计得窄一点；分辨力低时，则通频带设计得宽一些。

四、微分放大器

在高记录密度时，由于脉冲拥挤效应，读出信号有峰点漂移，而且幅度也随编码不同而改变。所以在检测读出信号的峰点时，一般不采用幅值鉴别，而把峰点转换成零点，然后检测零点。因为峰点的斜率等于零，所以只需对读出的波形进行微分，就能把峰点转换成零点。然后通过鉴零器就可以找到所要的峰点。对于磁化翻转间隙不大的记录方式，通过微分找到峰点的办法是合适的。在工程上常用电阻，电容或电感来实现对信息的微分。

对信号进行微分，实际上就是取它的变化率。根据电工原理，电容上的电流反映了电容上电压的变化情况电流i和压电U_c的关系是$i=C\frac{dU_c}{dt}$。若将经过放大后的磁头读出信号送到电容上，在电容上产生电流i。将电流i取出来，让它流过一个电阻R_c，那么，电阻R_c上的电压就为$U_R=R_ci$，$U_R=R_c\cdot C\frac{dU_c}{dt}$，这就清楚地看到电阻上的电压$U_R$就是磁头读出信号的微分。微分电路如图5-9示。

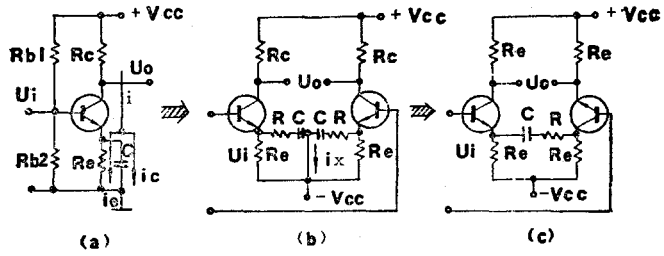


图5-9 微分电路

图5-9中，微分电路的输入信号U_i是磁头读出信号；微分电路的输出信号U_o是经过微分后的磁头读出信号。流经三极管集电极上的电阻R_c的电流变化等于流经发射极电阻R_e上的电流与流经电容C上的电流之和。适当选择R_e的大小；使得流经R_e上的电流与流经电容C上的电流相比可以忽略。只要在输入电压U_i变化时，三极管的基极电流不是太大输入电压U_i和电容C上的电压只相差一个正向二极管的压降，这时电容上的电压就能跟随输入电压U_i变化。这样，输出的变化电压U_o与输入的变化电压U_i就变成了近似微分的关系：$U_o\approx R_cC\frac{dU_i}{dt}$。如果对近似程度要求越高，就要求晶体管的电流放大倍数β越大。电阻R_c越大固然对提高近似程度有利，但这会给微分放大器的工作点的放置带来麻

烦。为了提高微分的近似程度，同时又能安排好微分放大器的工作点，在有些软盘机中，用恒流源来取代 R_c。恒流源的动态电阻大，微分近似程度高，工作点也容易设置。

用恒流取代R_c之后，我们会发现这个电路有一个缺点，就是对高频干扰信号的放大倍数太大，这是因为电容C对高频信号相当于短路。为了降低高频信号的放大倍数，可以和电容C串联一个阻值小的电阻R_o。这样对微分既不带来太大的影响，又能降低高频信号的放大倍数。

由于低通滤波器的两个输出信号就是微分放大器的输入信号，这两个输入信号也是差动信号，所以需用两个与图5-9(a)完全对称的电路来实现微分，接成如图5-9(b)所示的电路。由于输入信号是差动信号，所以图5-9(b)中的电流i_2为零。既然i_2为零，因此断开这条线也就不影响微分性能，并且可以把两个电容合并成一个电容，两个电阻合并成一个电阻。于是得到了如图 5-9(c)所示的实用的微分电路。FD-55B 型软盘机器的读出电路中，就采用了这种型式微分电路。如图 5-10。

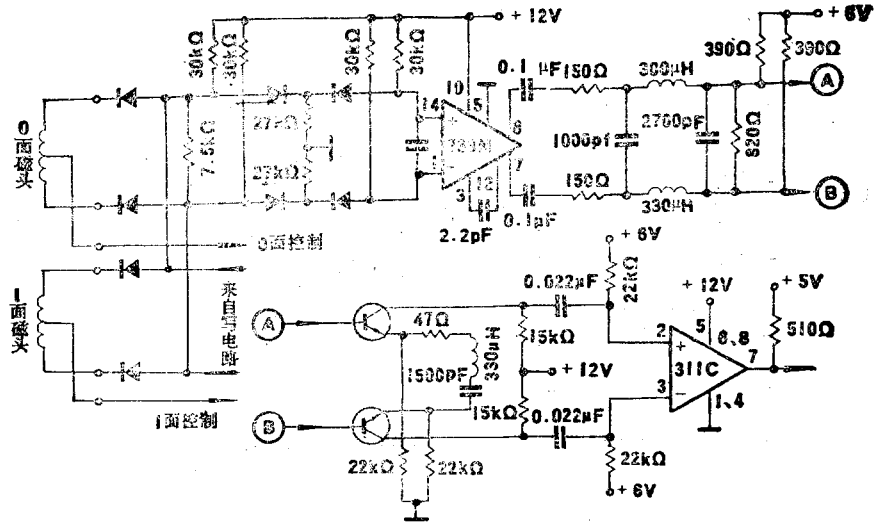


图5-10　读电路实例

五、鉴零和整形电路

磁头读出信号经过放大，滤波和微分之后把峰点变成了零点。检测零点的方法一般是将微分后的信号加以放大，使它变成方波信号。方波的正负跳变沿对应每一个零点。对应方波的正负跳变沿经过单稳态触发器整形，就得到了与写入脉冲一致的读出脉冲。下面结合一个实例来说明它的原理。

图5-11是TM-100 型软盘机中实际应用的一种电路。该电路的输入通过比较器 311C 将输入信号Ui变成方波信号，最后经过单稳态触发器整形后输出。在输入级和输出级之间插入了数字滤波电路，如图5-11(a)中虚线框所示。数字滤波器由半加器U_3以及R_1、C_1组成的边沿检测电路、单稳态触发器U_1和触发器U_2所构成。各点的波形如图5-11(b)所示。在图 5-11(b)中，B 点波形上虚线部分表示可能出现的“假零点”脉冲，但经过数字滤波后得到的E 点波形，可看到“假零点”脉冲得到消除。E 点波形延迟了一个单

稳时间(约1/4)，它大于同一个周期T中的两个假零点之间的间隔。T是在调频制记录方式中最大磁化翻转时间。5.25英寸软盘机T = 8μs。

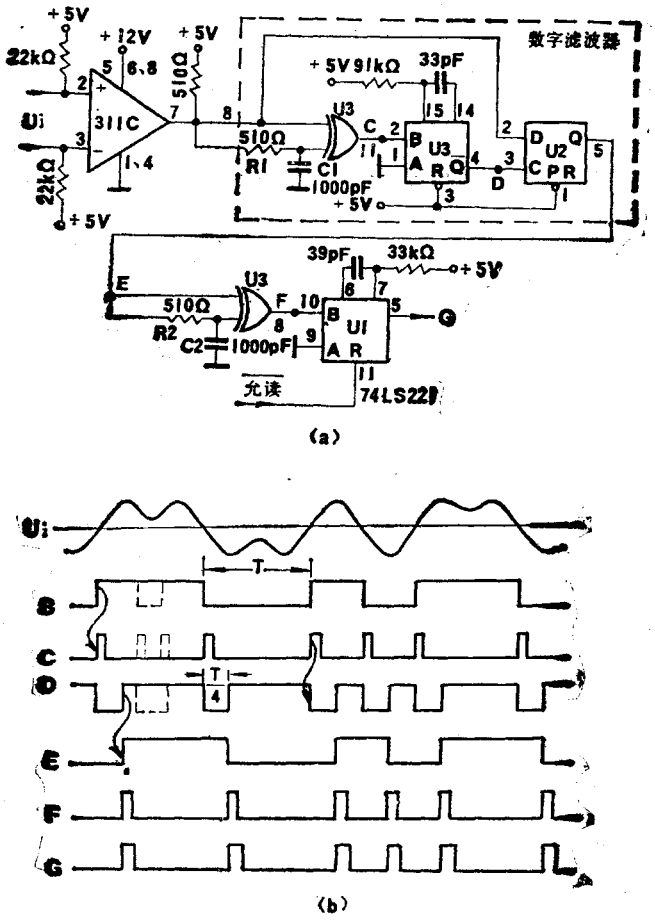


图5-11　鉴零滤波整形电路

分辨率较高的磁头在外磁道上读出的信号微分后容易出现假零点。用这种电路来消除这种假零点是一种有效的办法。

第三节　磁头定位控制电路

IBM PC所用的软盘机定位控制电路都采用四相步进电机。四相步进电机在定子上有四个绕组A、B、C和D。假定步进电机的步进方向控制信号X = 1时，表示磁头向"00"道方向运动；X = 0时，表示磁头向39磁道方向运动。步进电机绕组A、B、C和D相的通电次序可定为：

X = 1时，AB→BC→CD→DA→AB……

X = 0时，AB→DA→CD→BC→AB……

四相步进电机的控制电路如图5-12(a)所示。各点的工作波形如图5-12(b)所示。图中打有斜线的部分分别表示步进电机绕组处于断电状态。

图 5-13 是四相步进电机控制电路的实际应用例子。它是 TM-100 型软磁盘机所采用的电路

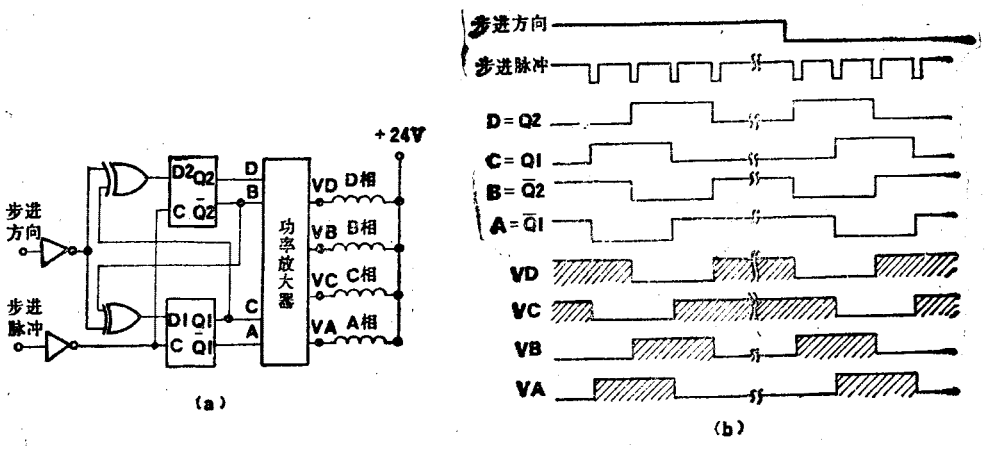


图5-12　四相步进电机控制电路及其波形图

根据四相双拍步进电机的工作原理，每输入一个“步进”脉冲，电机绕组01，02，03，04应有两相同时导通。每来一个“步进”脉冲，电机绕组导通状态改变一次，磁头移动一个磁道距离。为了说明方向信号、“步进”信号和绕组导通状态的关系。

从表5-2可看出，当方向信号为正时，每来一个“步进”脉冲，触发器4C的状态改变一次。依次来“步进”脉冲，则电机绕组导通状态改变顺序为：01，04→04，03→03，02→02，01→01，04……。这样，磁头可从39磁道退到“00”磁道位置。

表5-2　步进(STEP)信号和绕组导通状态的关系

条件		触发器状态(电平)				绕组加电状态	结果
		Q_1	$\overline{Q_1}$	Q_2	$\overline{Q_2}$		
加+5V电源		0	1	0	1	01，04	每来一个步进脉冲，磁头可从“39”磁道向“00”磁道方向步进一步。
若方向高	STEP1	1	0	0	1	04，03	
	STEP2	1	0	1	0	03，02	
	STEP3	0	1	1	0	02，01	
	STEP4	0	1	0	1	01，04	
若方向低	STEP1	0	1	1	0	01，02	每来一个步进脉冲，磁头可从“00”磁道向“39”磁道方向步进一步。
	STEP2	1	0	1	0	02，03	
	STEP3	1	0	0	1	03，04	
	STEP4	0	1	0	1	04，01	

反之，方向信号为低电平时，若依次收到“步进”脉冲，则电机绕组通电状态改变

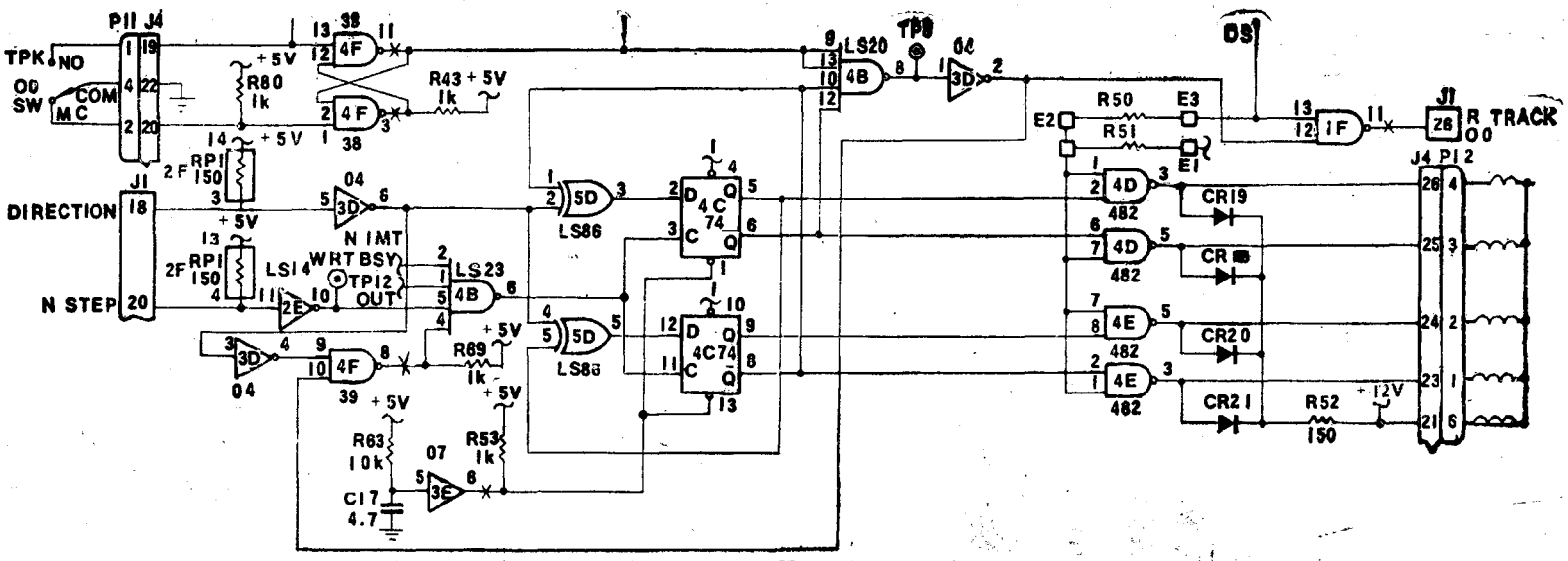


图5-13　TM-100型磁盘机步进电机控制电路

顺序为：01，02→02，03→03，04→04，01→……。这样，磁头可以从“00”磁道前进到39磁道位置。

为了保证磁头不致退到“-1”磁道。以“00”磁道为条件，当磁头处于“00”磁道时，该信号必呈高电平，此时方向信号也为高电平。这两个条件“与非”的结果，必然封住了与非门（4B），禁止磁头退向“-1”磁道位置。

从软盘机选中到磁头找到的时间关系，如图5-14所示。在这里应该强调，必须在方向信号稳定以后1μs，才能送来“步进”脉冲，以保证定位机构可靠地协调动作。

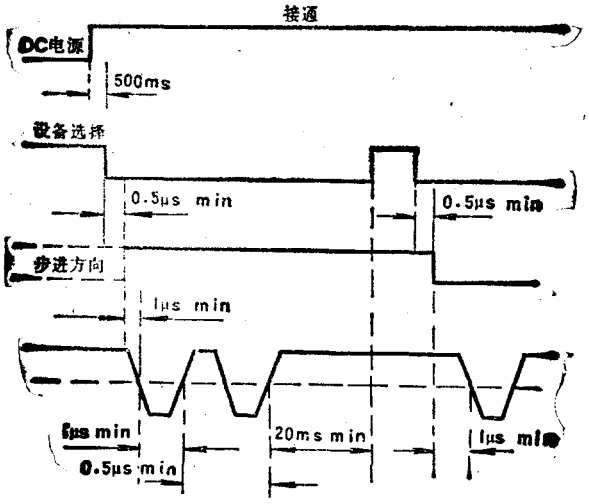


图5-14 磁头找道的时间关系

第四节 主轴电机的伺服电路

在5.25英寸软盘机中，驱动盘片转动的电机都采用直流电机。驱动电路的功能是驱动盘片以恒定的速度旋转。大部分5.25英寸软盘机，盘片以300转/分的速度旋转，一部分5.25英寸软盘机，盘片以360转/分的速度旋转。软盘片转速的误差一般都限制在±1.5%的范围内。转速的稳定性能主要取决于伺服电路。

直流电机的伺服电路框图如图5-15所示，这是一个典型的负反馈控制系统，它的工作原理简述如下：

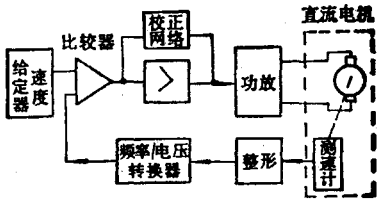


图5-15 直流电机伺服电路框图

当直流电机的转速偏离给定速度时，测速计反映出的速度信号经过整形，再通过频率/电压转换器把它变成直流信号。这个直流信号与速度给定值进行比较之后，产生反映偏差的误差信号。该信号被送到带有校正网络的放大器中，经过放大器放大后的信号去驱动功率放大器，以控制电机的转速趋于给定速度，从而使频率/电压转换器的输出与速度给定值之差趋于零，让电机稳定运行在给定速度下。

图中的整形器，频率/电压转换器，比较器和放大器可集成在一个器件内。只需外加速度给定器和校正网络即可。TM-100型软盘机直流电机伺服电路就是一个典型例子，如图5-16所示。

为了保证主轴电机转速稳定，在TM-100型的伺服电机上装有一个积分转速表，用表测量电机的转速变化，并转换成电信号送到LM2917转换器电路（用转速表十、一两端输入）。整形后通过一个电荷泵将速度变成电压值送给比较器。比较器的一端接在电位

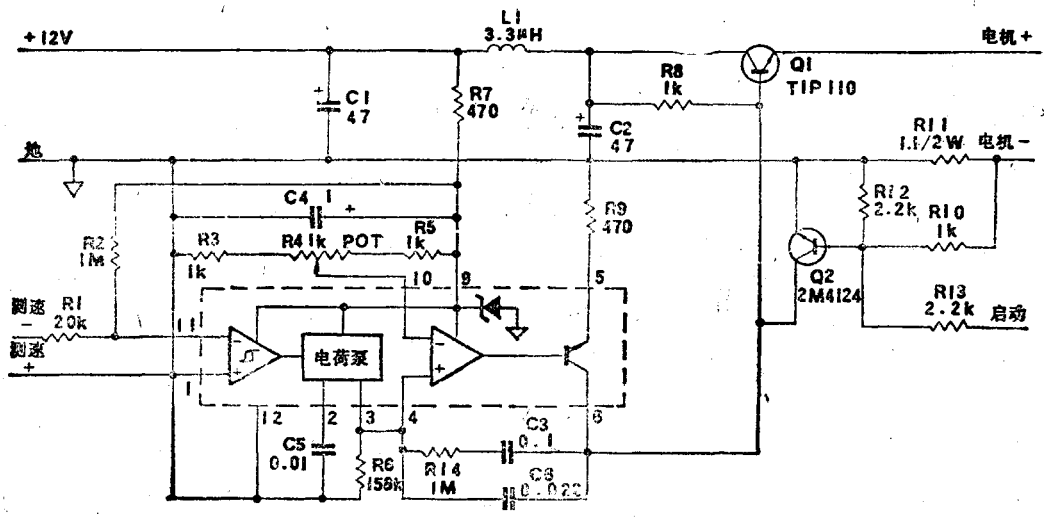


图5-16 TM-100型主轴电机伺服电路

器(R4)提供的给定电压上，比较结果通过一级放大送至 Q2(2N4124)的集电极C 点。若转速稳定，比较结果为零，使比较器后面的放大管截止，不影响 Q2 的集电极电位。当接口送来的“电机启动”信号有效(低电平有效)，Q2截止，则 Q1 必然导通，电流通过Q1驱动电机恒速运动。如果工作中电流升高，电机转速增加，从转速表处送来的信号会使比较器产生输出。这一输出迫使 Q2 的集电极电位下降，又迫使 Q1 的基极电压下降，导致Q1的集电极电位上升，结果是降低了电机中的驱动电流。当电机电流超过1.3A时，电路会自动禁止电机驱动，即 $U_{R11}=1\Omega\times1.3A=1.3V$，使 Q_2 导通，Q_1 截止。

调整电位器 R_4，可以改变比较器的基准电压，也就是改变给定转速。因此，调整 R_4的值就可以调整主轴电机的转速。

第五节 其它信号的检测和驱动电路

一、“00”道检测电路

软盘机提供有“00”道信号，该信号送往软盘控制器，告诉它读写磁头现在处于“00”磁道的位置。检测读写磁头是否处于“00”道，通常采用微动开关或光电检测器。无论用哪一种方法，一般都要与步进电机的A相信号“与”才能产生“00”道信号，这样才能确保磁头确实处于“00”道。至于该信号是否送往软盘控制器，则由来自软盘控制器的设备选择信号来决定。下面分别讨论对这两种检测方法加以说明。

1. 微动开关检测

检测“00”道信号，最简单的办法是用一个倒灌电流负载能力强的集电极开路“与非”门和微动开关串联即可，如图 5-17(a)所示。当步进电机A相通电，并在微动开关闭合的情况下，才能有“00”道信号输出。由于微动开关在断开和闭合时有抖动，它可能会引起“00”磁道信号的不稳定。这可采用“R-S触发器”来消除，如图5-17(b)所示。

TM-100型软盘机就是采用这种办法，各级波形如图5-18示。

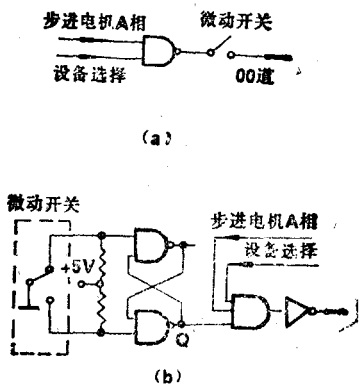


图5-17　微动开关检测“00”道

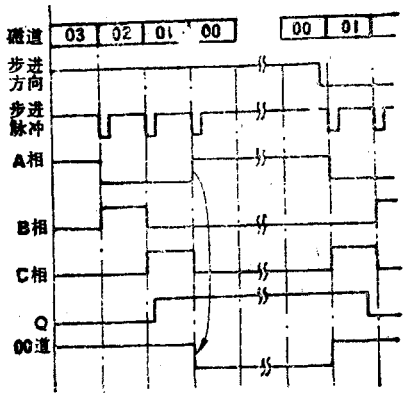


图5-18　磁道信号的检测波形图

2. 光电检测

用光电检测器来检测“00”道信号的电路如5-19所示。在“00”磁道的位置上装有发光二极管和光敏三极管。当读写磁头不在“00”磁道上时，发光二极管发出的光照到光敏三极管上，该管就导通，并通过比较器构成的整形电路，使A点变成低电平。当磁头在“00”磁道上时，磁头架上的挡板可以挡住发光二极管发出的光，使光敏三极管截止，整形器的输出变成高电平。若这时又是步进电机的A相通电，且“设备选择”信号为有效，那么“00”道信号就可以送到软盘控制器中。在YD-580型软盘机中就是采用光电检测法，但具体电路略有区别。

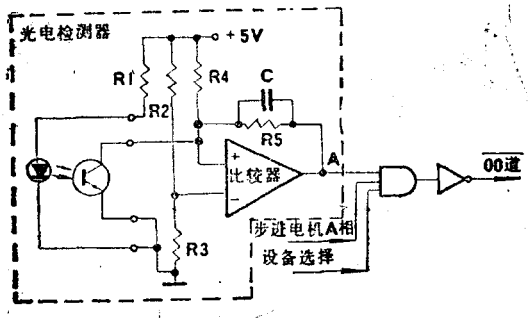


图5-19　光电检测电路

二、索引信号检测电路

5.25英寸软盘机一般使用软分段盘片。盘片每转一圈产生一个索引脉冲信号送至软盘控制器。可用它来标志每个磁道的开始和结束，为系统提供各种定时信号。

索引信号的检测，可以用图5-19所示光电检测器进行检测。将光电检测器的输出经过反相后直接和“设备选择”相“与”而得到的脉冲信号，直接送软盘控制器。

三、写保护检测电路

软盘机提供写保护信号是为避免由操作不当时，在不应被破坏的软盘片上进行写入，从而破坏了原来保存的信息。软盘机检测到不允许写的软盘片时，将自动切断写入电路的供电电源，同时发出写保护信号送到软盘控制器，禁止写入程序的执行。

写保护信号的检测电路与如图5-19所示的光电检测器完全相似。当“非写保护”

时，遇有写保护缺口，发光二极管发出的光可以照到光敏三极管上，使它导通。当“写保护”时，盘片写保护缺口被封住，发光二极管发出的光被挡住，而不能照到三极管上，使它截止，从而产生“写保护”信号。

一些5.25英寸软盘机采用微动开关来检测写保护缺口，当使用中遇着有缺口的软盘片时，不产生写保护信号，允许向软盘片写入信号。当使用中遇到缺口已被盖住的软盘片时，将产生“写保护”信号，自动切断写电源。这一点正好和8英寸软盘机相反。

四、准备好信号检测电路

在软盘机中提供“准备好(Ready)信号”是为了告诉软盘控制器下述状态：交流电源和直流电源已经加上；软盘片已经插入；软盘机的门已经关好；驱动电机已经转过了若干转。当软盘控制器接收到这个信号时，表示可以对该软盘机发出各种控制信号，进行各种操作，如找道、读写等。由此可见，计算机在向软盘控制器发出命令之前，应该首先检查软盘机是否处于准备好状态。

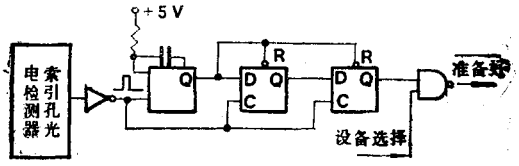


图5-20 准备好信号检测电路

由于只有交直流电源已经加上电，软盘片已经正确地插入才可能出现索引脉冲。所以在软盘机中可以设置一个检测电路，通过检测索引脉冲的有无来判断软磁盘机是否处于准备好状态。一般情况是驱动电机运转之后，若检测电路检测到连续两个索引脉冲，就表示软盘机已准备好。如果没有索引脉冲到来时，例如门已打开，就表示软盘机没准备好。“准备好”信号检测电路如图5-20示。图中的单稳态触发器具有重触发功能，它的定时宽度应大于索引脉冲的间隔。

五、磁头加载控制与驱动电路

由于软盘机采用接触式的工作方式，为了延长磁头和盘片的使用寿命，只有在读写或找道时磁头和盘片才接触，不工作时它们则分开。因此，这就要对磁头加载进行控制。所谓加载就是指把盘片指向磁头处，使磁头和盘片接触。在什么情况下磁头和盘片才接触呢？当选中了软盘机并且软盘控制器已发出磁头加载信号时，磁头和盘片才接触。通常在5.25英寸软盘机中，采用“启动电机(motor on)”信号来取代磁头加载信号。因为只有在读写或找道时直流电机才运转。

软盘机中，通过一个电磁铁线圈的通电或断电来控制磁头和盘片的接触或分开，电磁线圈的控制和驱动电路如图5-21所示。图5-21(a)用于控制和驱动需要较大电流的电磁线圈，图中的晶体管工作在开关状态。图5-21(b)用于需要较小电流的电磁线圈。当“设备选择”信号和“磁头加载”信号同时为高电平时，集电极开路“与非”门

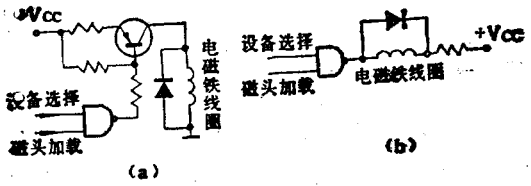


图5-21 磁头加载驱动电路

的输出变成低电平，电磁线圈通电，使磁头和盘片接触。

第六节　接口信号

软盘机和软盘控制器之间的接口信号全部是负逻辑电平，即高电平为假，低电平为真。信号电平见表5-3。

一、信号的驱动与接收

5-3　接口信号电平约定

接口信号	高电平(V)	低电平(V)
输　入	2.4～5.25	0～0.4
输　出	3.0～5.25*	0～0.4

*集电极开路输出，高电平由负载端决定。

软盘机和软盘控制器一般不在一个机壳内。即使在同一机壳内，它们的信号也要经过较长的引线进行传输。由于引线上存在着分布参数，在传输脉冲波形时，如果阻抗不匹配会产生反射，脉冲的前沿或后沿就会产生畸变，造成传输错误。在接口中一般都采用终端匹配来消除反射，这时要求传输线的波阻抗 E_0 和终端的输入阻抗 Z_i 相等。现在一般都采用波阻抗 Z_0 约为 150Ω 的电缆线传送信号。由于波阻抗小，终端的输入电阻也要小，才能匹配，这就需要加驱动电路。常见的两种驱动与接收电路如图 5-22 所示。图中(a)和(b)具有相同的匹配效果。前者所要求的驱动电流小，但抗干扰能力差；后者要求的驱动电流大，但抗干扰能力强。

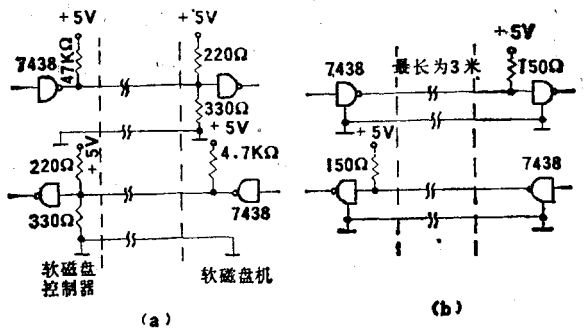


图5-22　接口信号的驱动接收

在图 5-22(a) 的电路中，假定传输线上的高电平也就是接收端的输入高电平 $V_{IH}=3.0V$，低电平为 $V_{IL}=0.3V$，而一般 TTL 的开门电平 $V_{ON}\approx1.8V$，关门电平 $V_{OFF}\approx0.8V$，传输线上高电平噪声容限即保证 TTL 门电路输出为低电平的前提下，输入端允许的最大噪声电压为 $V_{NH}=V_{IH}-V_{ON}=3-1.8=1.2V$。

事实上，任何一根传输线上，都不可避免地会有干扰脉冲出现。引起干扰的原因是很多的，例如另一个信号通过线间电容耦合到这根信号线上，或其它干扰源通过地线和电源加到这根信号线上，都会干扰信号的传送。企图完全消除干扰是不切实际的，但提高传输线上的噪声容限是可能的。图6-22(b)所示的驱动接收电路，既满足了传输线的阻抗匹配，又提高了高电平的噪声容限，使它的噪声容限变成：$V'_{NH}=V'_{IH}-V_{ON}=5-1.8=3.2V$。这与图5-22(a) $V_{NH}=1.2V$相比，提高了2V。虽然5-22(b)电路的器件功耗大，但为了提高抗干扰能力，大多数接口中都采用这种驱动/接收电路。

二、接口信号线的连接

在微型计算机系统中，往往需要由一个软盘控制器连接多台软盘机。控制器和软盘

机之间的连线有两种方式，如图5-23所示。图5-23(a)的连线方式称为辐射式或星 式。在这种方式中，每台软盘机各有自己的接口信号线和软盘控制器相连。至于哪台软盘机和控制器交换信息，则由控制器中的多路开关来选择；而多路开关是由软盘机选择信号控制。这种连线方式的缺点是接口信号线太多。图 5-23(b) 的连线方式称为 雏 菊 链方式。在这种连线方式中，各台软盘机的接口信号线相并联。至于哪台软盘机要和控制器交换信息，则由控制器发出的“设备选择”信号来控制。只有被选中的软盘机，才能和控制器交换信息。由于几台软盘机的同一信号线是并联在一起的，所以每一根输入信号线只需要在最后的软盘机输入端上保留一个端接电阻，其余的均应去掉；否则这些电阻并联后的电阻值和传输线的阻抗不匹配，造成读写出错。

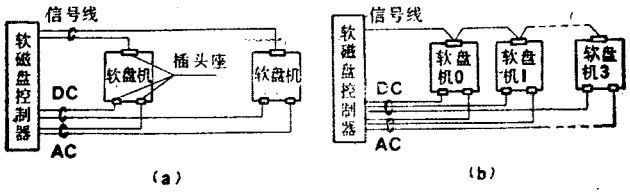


图5-23 控制器与软盘机之间的连线方式

在雏菊链的连接方式中，软盘控制器和软盘机之间，各种信号连接均可采用图5-24所示的线路。例如，由软盘控制器送出的写数据脉冲，经过集电极开路“与非”门驱动后，同时送到软盘机0、软盘机1、软盘机2和软盘机3，并由控制器发出的“设备选择”信号来指定哪台软盘机接收这个信号。同样，四台软盘机送往控制器的信号，譬如读出数据脉冲，将它们接到同一条线上，并将软盘机的读出信号送往控制器。

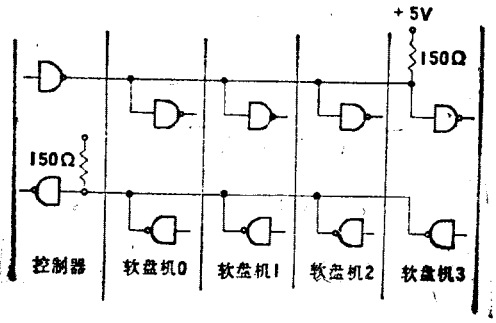


图5-24 信号接口电路

第六章 常用软盘机

我国目前广泛使用的IBMPC、IBMPC/XT长城0520A、长城0520CH等微型计算机系统均采用标准接口的5.25英寸软盘机。所谓标准接口就是以标准的34芯扁平电缆为输入输出线，以IBM34记录格式为标准的接口。常用的软盘机有全高的TM100型和MPI-52型及半高度的FD-55B型、YD-580型和SA455(JA551)型等。表6-1列出了它们的主要性能。

表 6-1 常用软磁盘机性能表

性能 \ 型号	单位	TM-100	MPI-52	FD-55B	YD-580	SA455 (JA551)
存储容量						
格式化	KB	500	500	500	500	500
非格式化		360	360	360	360	360
数据传输率	Kb/s	250	250	250	250	250
记录密度	BPI	5876	5876	5876	5876	5876
道密度	TPI	48	48	48	48	48
找道时间	ms					
道一道		6	5	6	5	6
平均		15	15	15	15	15
最大		90	84	93	81	91
头加载时间	ms	50	50	50	50	50
功耗	W	12	12	5.5	10.5	10
可靠性 (MTBF)	h	9000	9200	12000	8000	10000
高度	H	全高	全高	半高	半高	半高

目前，最常用的软盘机是YD-580，FD-55B及其改进型FD-55BV。为此，本章将着重加以介绍。

第一节 YD-580型软盘机

一、YD-580的结构

YD-580型软盘机由盘片、磁头驱动机构、盘片驱动机构、各种检测机构和电路板组成。结构图如图6-1所示。

由机械结构图可见：

(1) 外型尺寸为 203×146×41mm。它是半高软盘机。

(2) 盘片驱动机构采用无刷直流电机。

(3) 磁头驱动机构采用步进电机带动钢带並驱动磁头。

(4) “00”磁道检测、写保护检测、索引信号检测均采用光电检测机构。

(5) 有两块印制电路板。一块用作无刷直流电机同服电路，另一块用作读写，控制逻辑，步进电机驱动等电路。

(6) 采用电磁式磁头加载机构。

实践证明 YD-580 型能实现如下功能：

(1) 准确地驱动主轴电机带动软盘片旋转。

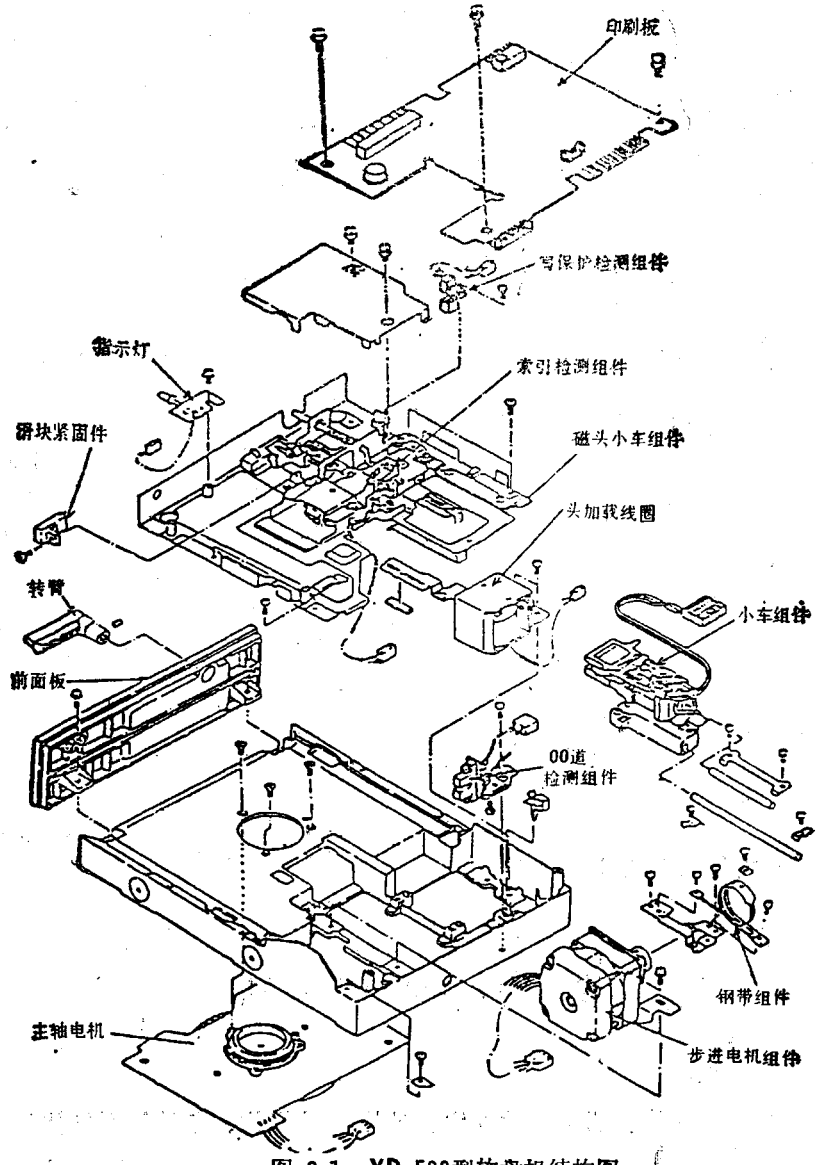


图 6-1 YD-580型软盘机结构图

(2) 能准确地把磁头驱动到指定的磁道上。

(3) 加载磁头和实现读写操作。

(4) 产生和解释控制信息或状态信息(索引、"00"道、写保护检测)。

二、YD-580的电路原理

YD-580型软盘机的电路见图6-2。它由读写电路、步进电机控制电路、无刷直流电机伺服电路、索引检测电路、"00"磁道检测电路、写保护电路等组成。YD-580采用了集成度比较高的组件。我们只能借助于器件的框图或输入输出来了解其内部结构及其外部特性。

1. 主要集成电路

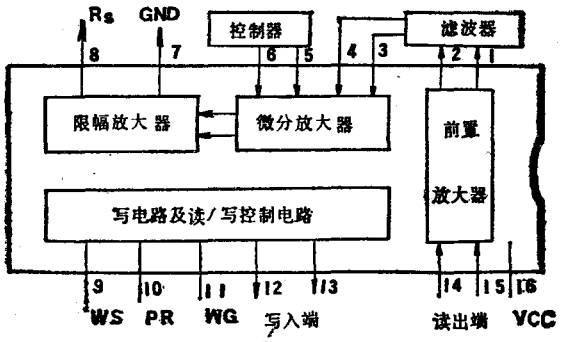


图 6-3 WB4392 框图

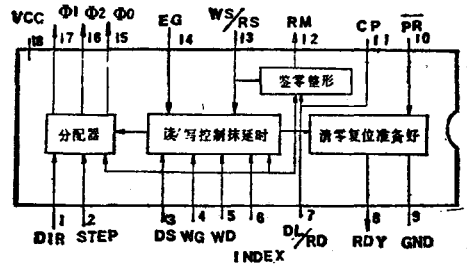


图 6-4 MB14301 框图

(1) MB4392 读写电路它的框图见图6-3。它的引脚说明如下：

1.2脚去低通滤波器；3.4脚去微分放大器；5.6脚外部控制；7脚地；8脚读数据；9脚写数据(WS)；10脚请零复位(PR)；11脚写选通(WG)；12.13脚写入端(WA、WB)；1415脚读出端

(2) MB14301步进电机控制和读写控制电路它的框图见图6-4。引脚说明：

1脚方向控制(DIR)；2脚步进信号(STEP)；3脚设备选择(DS)；4脚写选通(WG)；5脚写数据(WD)；6脚索引(INDEX)；7脚读延迟(DL/RD)；8脚准备好(RDY)；9脚地(GND)；10脚清零复位($\overline{PR}$)；11脚时钟(CP)；12脚读数据(RM)；13脚写数据/读数据(WS/RS)；14脚抹选通(EG)；15脚步进电机分配(ϕ_0)16脚步进电机分配(ϕ_2)；17脚步进电机分配(ϕ_1)；18脚+5V电源(V_{cc})

2. 各种功能电路

(1) 检测电路它由索引检测电路、"00"磁道检测电路、写保护等电路组成。

(2) 步进电机控制电路(参见图6-2)YD-580采用四相双拍式步进电机驱动磁头。它的控制电路由1F、1E、3G、3D、4D、MB14301等组成。其主要特点是：

①为了减小步进电机的发热量，采用半断电方式。平时步进电机接+5V电源，只有在找道时才能通过单稳(3G)使功放管Q1导通，使电机绕组加上+12V电源。

②步进电机各相绕组导通状态分配器集成在MB14301组件中。

③分配器只有在DIR和STEP信号作用下，才能保证ϕ_1、ϕ_2输出有四种组合，使电

Retro Worksh

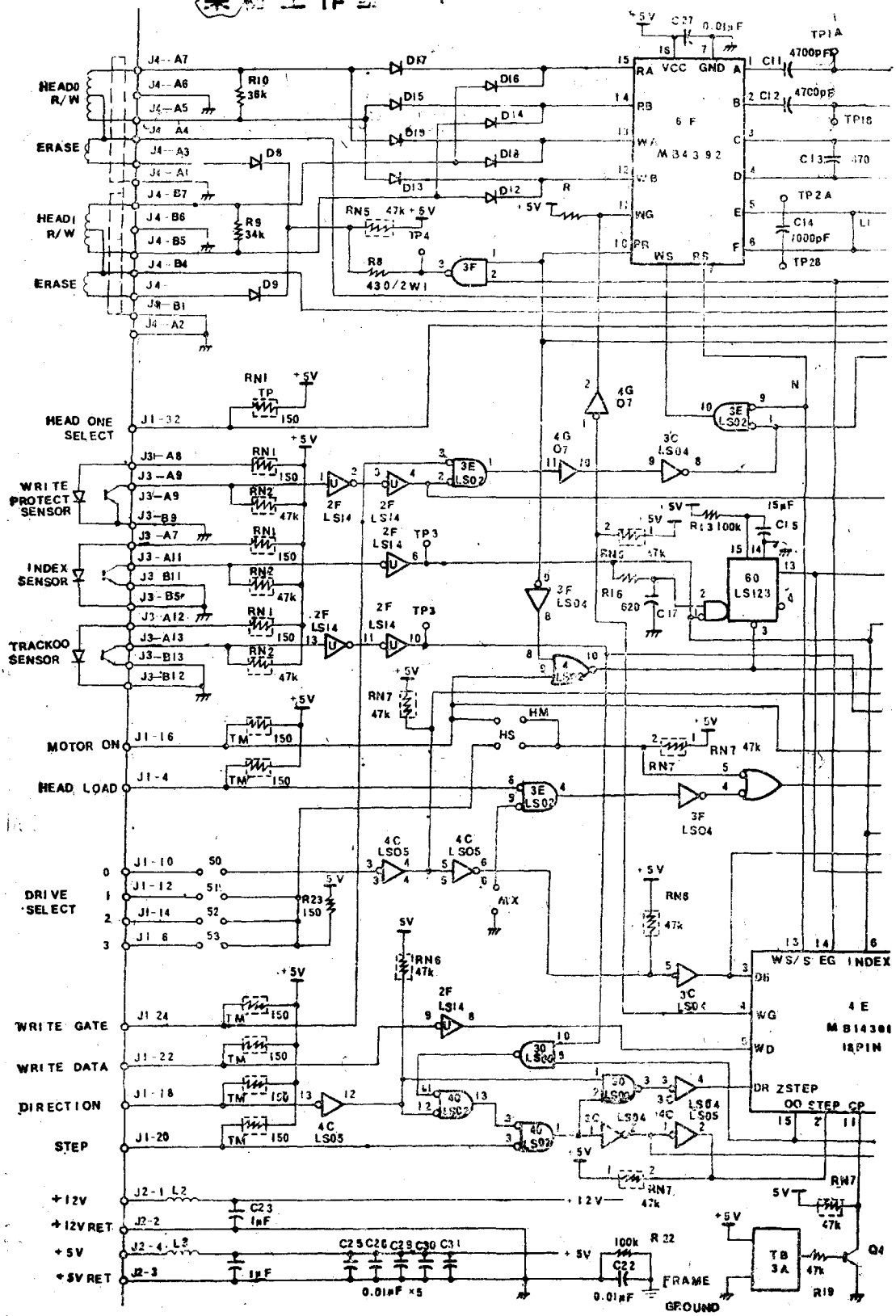
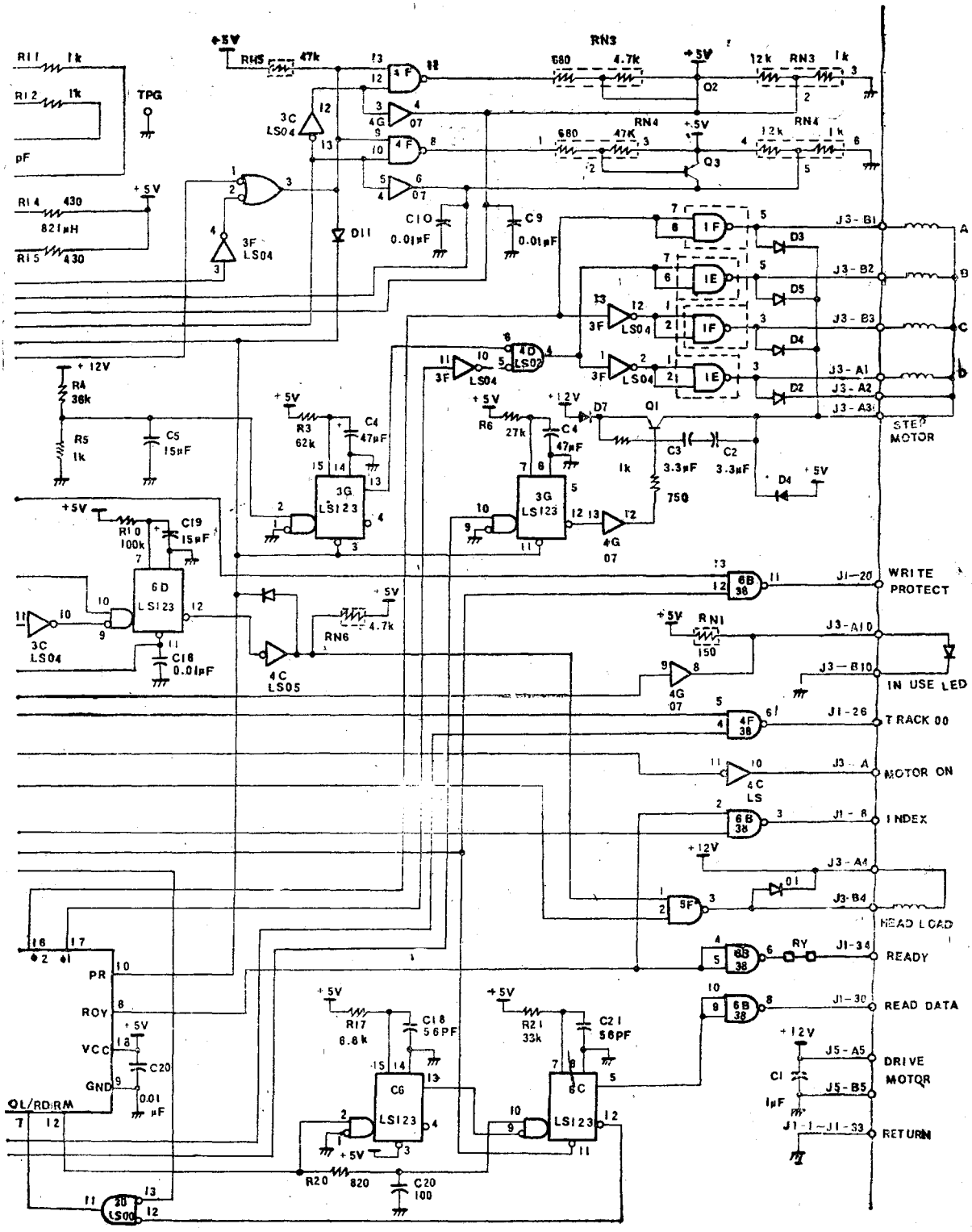


图 6-2 YD-508型软盘机电原理图

Retro Workst.
果粉工作室



机绕组依次两相两相的顺序导通，实现磁头正反向找道。

④用“00”道和00信号相“与”。只允许磁头在“00”至“39”磁道之间寻道。防止磁头向“－1”磁道步进。

(3) 写抹电路

①抹电路　它由4F、4G、5F、MB14301等器件组成。由磁头选择信号经4F、4G电路决定Q3(或Q2)管导通。导通管所对应的磁头中心抽头电位高，则该磁头被选中。相反，截止管所对应的磁头中心抽头电位低，磁头未被选中。

由“设备选择($\overline{DS}$)”信号、“写选通(WG)”信号、在MB14301组件中形成一个相对于“写选通(WG”前后沿已经延迟的"抹选通(EG)"信号，从MB14301的EG端送给5F，则5F-5为低电平。于是抹电流从被选中的Q3(或Q2)管经抹磁头线圈流向5F。

②写电路由MB14301、MB4392等组成。

由“设备选择($\overline{DS}$)”“写选通(WG)”控制的“写数据”(WD)经MB14301处理，在非写保护状态，经3E送入MB4392的WS端。同样，在“写选通”的控制下，“写数据”(WD)在MB4392中形成写波形，控制写电流放大器，使写电流流经被选中的磁头。

为了防止在写入时写电流窜入读出放大器并将前置放大器损坏，在读写磁头和读出放大器之间用二极管阵列开关作隔离。

(4) 读出电路　由MB4392、MB14301、6C等器件组成。当输入的“写选通(WG)”为高电平时经3E-1和4G，使MB14301的WG端为低电平，而又经4G-2使MB4392中WG信号为低电平；14301EG端为低电　，因此，5F-5为高电平。由于二极管D_{12}、D_{13}、D_{14}、D_{15}的隔离开关作用，只允许磁头读出信号送入MB4392中。经过前置放大，低通滤波、微分、整形放大后送入MB14301的RS端。再经过鉴零、数字化滤波消除假零点之后经RM端，送至单稳(6C)整形，然后经6B-8输出至软盘控制器(FDC)。

(5) 直流无刷电机伺服电路　主要由M51721L组件和M51720P组件组成，如图6-5所示。其中M51721L主要作电流放大，M51720P主要作转速控制。电机内的霍尔元件H_1、H_2在垂直磁场和电流的作用下感生电势，并送入M51721L中的电流放大器输入端，然后从电流放大器输出电流至电机绕组。

由测速计(FG)输出的转速信号送至M51720P中，经放大整形，和处理变成随转速变化的直流电压，再与定值比较产生差值，用以控制电机的转速。当转速高时，使输出电流降低；反之，则输出电流升高，从而控制电机转速保持在300转/分之内。

三、YD-580的接口信号

1. 接口信号的定义和功能

YD-580采用标准接口信号。包括由软盘控制器(即适配器)送到软盘机的命令和数据，以及由软盘机送到软盘控制器的状态和数据。信号定义如表6-2。

由控制器送到软盘机的命令及数据有八个：

(1) “设备选”($\overline{DRIVE\ SELECT}$ 0～3)信号，该信号低电平有效，被选中的软盘机指示灯亮。所以输入和输出端选通，把状态信号送到软盘控制器。并准备接收控制器发出的命令。标准接口软盘机有四条“设备选”线。所以，每台控制器可控制四台软盘机。

Retro Workshop
果粉工作室

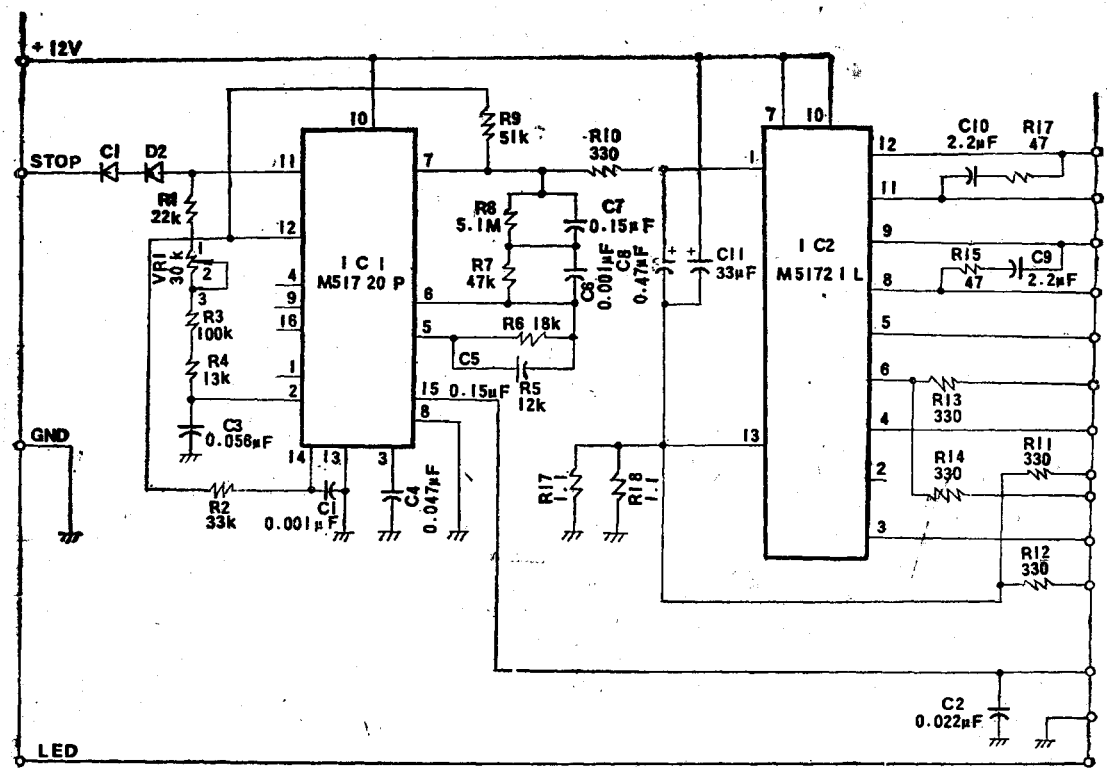


图 6-5　主轴电机伺服电路

表 6-2　信号定义表(按插座引线排列)

024芯插座引线	功	能
J1—2	NO USE	(空)
J1—4	HEAD LOAD	(头加载)
J1—6	DRIVE SFLECT3	(设备选3)
J1—8	INDX/SECTOR	(索引/扇区)
J1—10	DRIVE SELECTO	(设备选0)
J1—12	DRIVE SELECT1	(设备选1)
J1—14	DRIVE SELECT2	(设备选2)
J1—16	MOTOR ON	(电机启动)
J1—18	DIRECTION SELECT	(方向选择)
J1—20	STEP	(步进)
J1—22	WRITE DATA	(写数据)
J1—24	WRITE GATE	(写选通)
J1—26	TRACK 00	(00磁道)
J1—28	WRITE PROTECT	(写保护)
J1—30	READ DATA	(读数据)
J1—32	SIDE ONE SELECT	(面选)
J1—34	READY	(准备好)
J1—单数	GND	(地)

每台软盘机的印制电路板上设置了短接器，可达到四台软盘机按菊链连接使用。若要选中“0”号软盘机，只要将短路插塞插在电路板上标有 DSO 的短接器上即可。

(2) “电机启动”(MOTORON)信号，该信号低电平有效，它用来控制驱动盘片的主轴电机启动。若该信号为“低”电平时，则电机开始启动。电机启动后，必须延迟2秒才能进行读写操作。

(3) “方向选择”(DIRECTIONSELECT)信号。该信号是在步进脉冲到来时，用来指定读写磁头的移动方向。高电平时控制磁头小车向“00“磁道方向走步。低电平时控制磁头小车向“39”磁道方向走步。方向选择信号的转换，必须在“步进”脉冲的前沿之前1μs(最小)，及在“步进”脉冲的后沿之后1μs(最小)形成。

(4) 步进(STEP)信号　该信号是用来控制步进电机走步的方波信号。在“步进”脉冲后沿(即由低到高跳时)进行走步动作。每发出一个“步进”脉冲，则使读写磁头移动一个磁道。“步进”脉冲波形见图6-6。

(5) “写数据”(WRITE DATA)由数据和时钟两部分组成。“写数据”的负脉冲有效。每当电平由“高”变成“低”时，使通过读写磁头的电流反向。写入数据位只有当写选通信号为低电平时，才允许写入数据。

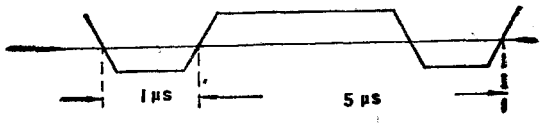


图 6-6　步进脉冲波形

(6) “写选通”(WRITEGATE)该信号低电平有效，当信号为低电平时，打开写电路门，关闭读电路，可在盘片上写入数据。高电平时，可进行读或寻址操作。

该信号由低到高以后(1000μs内)，由于抹磁头还处于工作状态。所以，“设备选”和“电机启动”信号应保持工作状态。此时，还禁止“面选”信号转换。

(7) “面选”(SIDE ONE SELECT)信号该信号是决定读写双面软盘片哪一面的信号。当信号为“高”电平时，选择盘片的“0”面读写磁头。“低”电平时，选择盘片的“1”面读写磁头。当一个磁头转换到另一个磁头时，在开始读写操作之前，应有100μs的延迟时间。

(8) “磁头加载”(HEAD LOAD)信号磁头加载是使磁头与盘片之间有效的接触，保证读写操作可靠进行。磁头加载的条件是：

①用短路插塞将HS短路，HM开路。反之亦然。

②“设备选”及“磁头加载”信号均处于低电平。

当满足磁头加载条件，即实现磁头加载。但要经 50ms 以后才能进行读写操作。

由软盘机送至控制器的状态及数据有五个。

(1) “00道”(00 TRACK)信号该信号为低电平有效，当读写磁头位于“00”磁道位置时，该信号线发出“00”道信号(低电平)。当控制器接收到“00”道信号后，重新设置磁道寄存器的内容，以“00”道为起始值。相反，读写磁头不在“00”道时，该信号为高电平。

(2) “索引”(INDEX)信号　每当磁盘机检测到盘片上的索引孔时，就发出该信号。正常时，盘片转一圈则发出一个索引脉冲。平时该信号为“高”电平。当检测到索引孔时，则该信号由“高”变为“低”电平(控制器检测的是信号的前沿变化，而不是检测电

平)。因从索引脉冲下降沿开始延迟 200μs 后,软盘控制器才对软盘机进行读写操作。

(3) "写保护"(WRITE PROTECT)信号。该信号为低电平时,表示带有写保护的盘片(写保护槽已盖住)插入。这时软盘机禁止写。

(4) "准备好"(READY)信号。在下列条件下,该信号为低电平:

①软盘机供给+5V和+12V电源;

②盘片正确插入;

③盘片转换后,软盘机已检测到四个索引脉冲信号。

因为计算机对软盘机进行读写操作之前首先要对准备好信号进行测试,当准备好信号为低电平时,才发出读写命令。否则发 I/O 出错信号。

(5) "读数据"(READ DATA)信号 该信号线输出的是数据和时钟的混合脉冲,每一次磁化翻转期则输出一个负脉冲。

5. 接口信号的时间关系

(1) 找道操作的时间关系 "步进方向"脉冲必须在"步进"脉冲之前 1μs 出现。步进

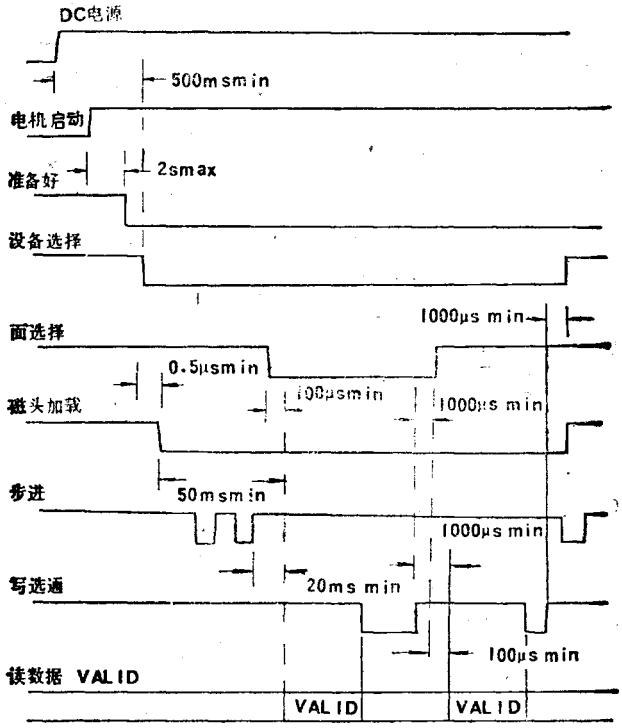


图 6-7 读操作定时

脉冲的间隔为 5ms。每来一个步进脉冲,磁头移动一个磁道。若要求磁头反方向运动时,步进脉冲的间隔除考虑步进电机走一步所需时间 5ms 外,还得留出步进稳定时间(15ms)。因此,反向运动时,步进脉冲的时间间隔为 20ms。

(2) 读操作的时间关系 如图 6-7 所示,磁头加载信号发出 50ms 以后,才能进行读写操作。因为磁头和盘片需要稳定接触时间。它包括机械和电气的动作时间。

(3) 写操作的时间关系 应特别注意面选信号的起止时间。因为它直接关系到读写的可靠性,如图6-8所示。当"面选"稳定 100μs 以后,才能出现"写选通"。而"面选"要等"写选通"结束 100μs 以后才能改变。

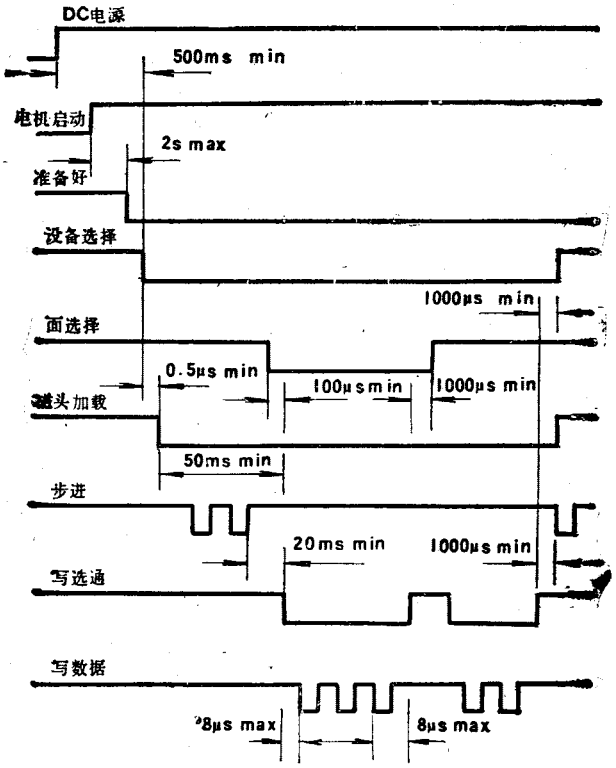


图 6-8 写操作定时

第二节 FD-55B 型软盘机

IBM PC 的另一种常用配套的软盘机是日本TEAC公司的FD-55B。尤其是其低噪声改进型为 FD-55BV，它具有以下四个主要特点：

(1) 具有主轴自动旋转的功能，提高了盘片与主轴卡盘的接触精度。当插入软盘片时，通过写保护开关接通主轴自动旋转电路使主轴旋转；在关门时盘片与旋转的卡盘接触因而保证了盘片定位的精度，提高了盘片的使用寿命。电机旋转10秒钟后自行停止旋转，等待主机发出的操作命令。

(2) 采用无刷直流电机，减少因电刷引起的火花干扰，降低了软出错率。

(3) 采用大规模集成电路，因此功耗低，可靠性高。

(4) 采用低噪声磁头小车定位机构，大大降低了找道时的噪声。

一、FD-55B的结构

FD-55B 型软盘驱动器结构由底座、开门机构盘片驱动机构、磁头和小车、头加载机构，磁头定位机构、检测结构等几部分组成。

图6-9和图6-10为 FD-55B 顶视和俯视的结构图。图 6-11 为机械装配图。

由机械结构图可见，FD-55B 基本结构与 YD-580 相似。即半高结构、定位机构采用步进电机带动钢带驱动磁头。主轴电机采用扁平无刷直流电机。检测机构："00"磁道

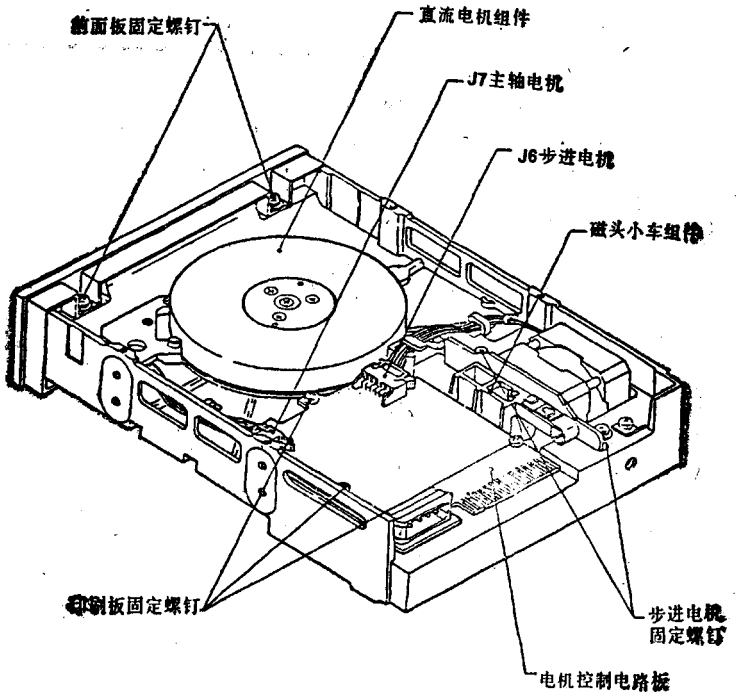


图 6-9　FD-55B 型软盘机顶视图

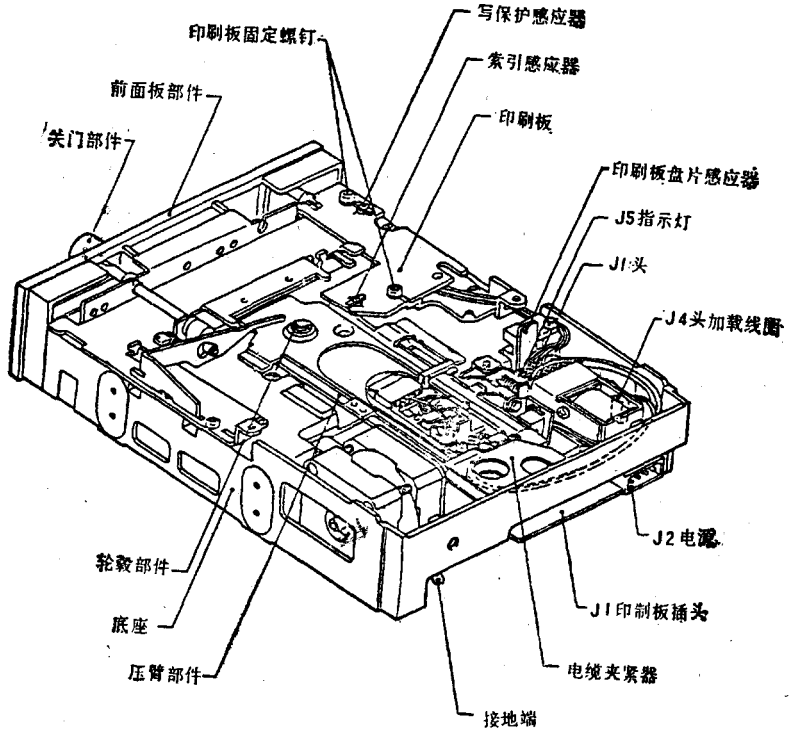


图 6-10　FD-55B 型软盘机俯视图

检测、写保护检测和索引信号检测均采用光电元件。

FD-55BV 在结构上的特点是采用精密的导轨和小车并在导轨与小车间滑动部分涂上一层特殊的油膜。因而找道时噪音特别小。

二、FD-55B 电路原理

FD-55B 由读电路、写电路、控制电路和伺服电路四个部分组成。读电路和写电路在读写印制板上、控制电路在控制印制板上，伺服电路在电机控制板上。FD-55B 型软盘机电原理图见图6-12。

1．读电路

读电路由前置放大器、低通滤波器、微分放大器、峰值检测器、时间滤波器和读出门(输出驱动门)等几部分组成。除了读放大器以外，读电路都装在读写放大器印制板上。在读操作时，读写头感应出的微小电压由视频差分放大器 U307组成的前置放大器放大 30dB。低通滤波器（L302，L303，C319 等组成）滤除不需要的高频噪音。然后读信号加到微分放大器（Q301、Q302，L301 等组成）。微分放大器把读出信号的峰值位置相移到零交叉位置，并将各种有用频率信号放大 20dB 。峰值检测器由比较器 U304 组成，它将差分的输出转换成方波。时间滤波器用来消除在外磁道低频信号(1F 频率信号62.5KHz)中鞍形波造成的脉冲。时间滤波器由双向单稳多谐振荡器*/(RA302，C310，U3031 1到13脚)，2.4ms 左左的延迟单稳(U301，4脚$\overline{Q}$)，数据暂存器(U302，5脚Q)，双向单稳*2(RA302，C309，V3038 到10脚)和 1μs 左右的延迟单稳(U301，5脚 Q)组成。

该信号由 U301-5 经控制电路板上的读门(输出驱动门)，(U202 4～6脚)输出到软盘控制器。读放大器和峰值检测器的波形见图6-13，时间滤波器和读门波形见图6-14。

2、写电路

写电路包括写门、抹门、功率门、面选门、数据暂存器、写驱动门和抹驱动门。其中写门和抹门装在控制电路板上，其它线路装在读写放大器印制板上。

在同时满足下述三个条件时，写门(U213，3～6脚)输出为高电平。

①；$\overline{\text{写保护}}$”光电检测器检测到盘片外套上的缺口(允许写的条件)；

②“$\overline{\text{写选通}}$”($\overline{\text{WG}}$)为有效

③MX 跨接线短接或“设备选择”($\overline{\text{DS}}$)为有效

抹门由双向单稳多谐振荡器 U205 组成。因为抹缝在读写缝隙后面 0.85mm，抹选通信号必须延迟于写选通信号，这样写数据头能完全地由抹头修整。隧道抹在磁道之间的保护带防止了由于偏离磁道(定位误差)而产生的噪音。它也保证了盘片的互换性。

当写选通信号或抹选通信号输出为高电平时，功率门(U30512和13脚的输出)接通，+12V电源通过面选门加到磁头的公共端。当面1选中信号为“高电平”时，面选门*0的 Q303 接通。当面1信号选中信号为低电平即有效时，面选门*1的 Q304 接通。

写数据输入脉冲锁存在“数据暂存器(U3029脚Q)，并由二个写驱动器(U306)交替导通提供读写磁头适当的写电流。图6-15为写电路波形图

3．控制电路

控制电路包括门/跨接器、检测器和步进电机控制电路。门/跨接器是设备选中门用

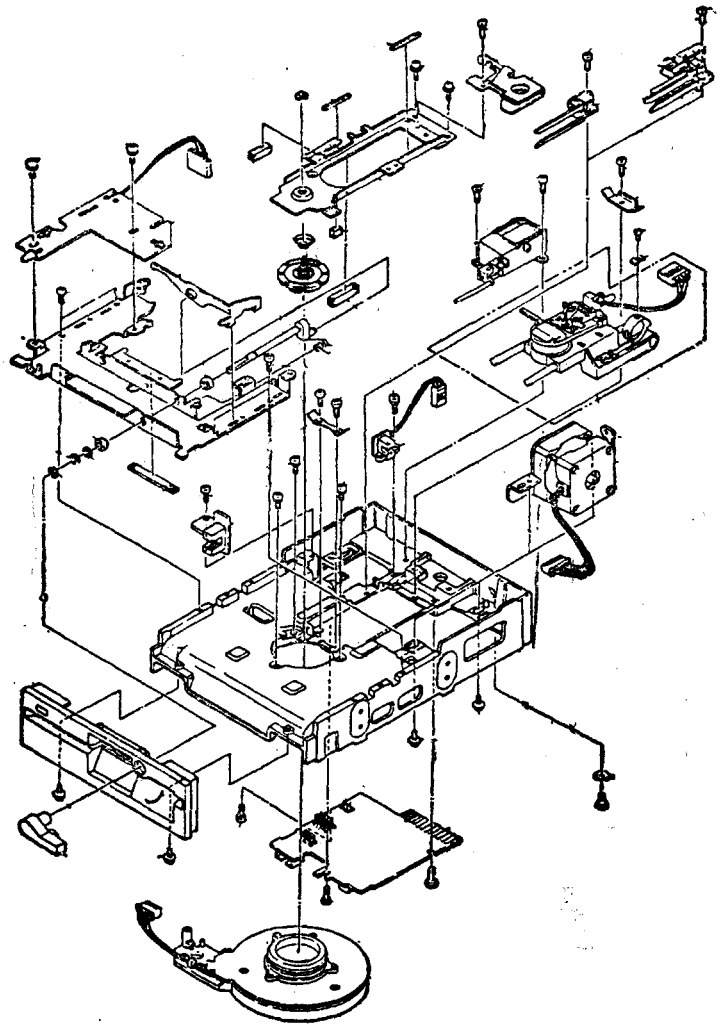
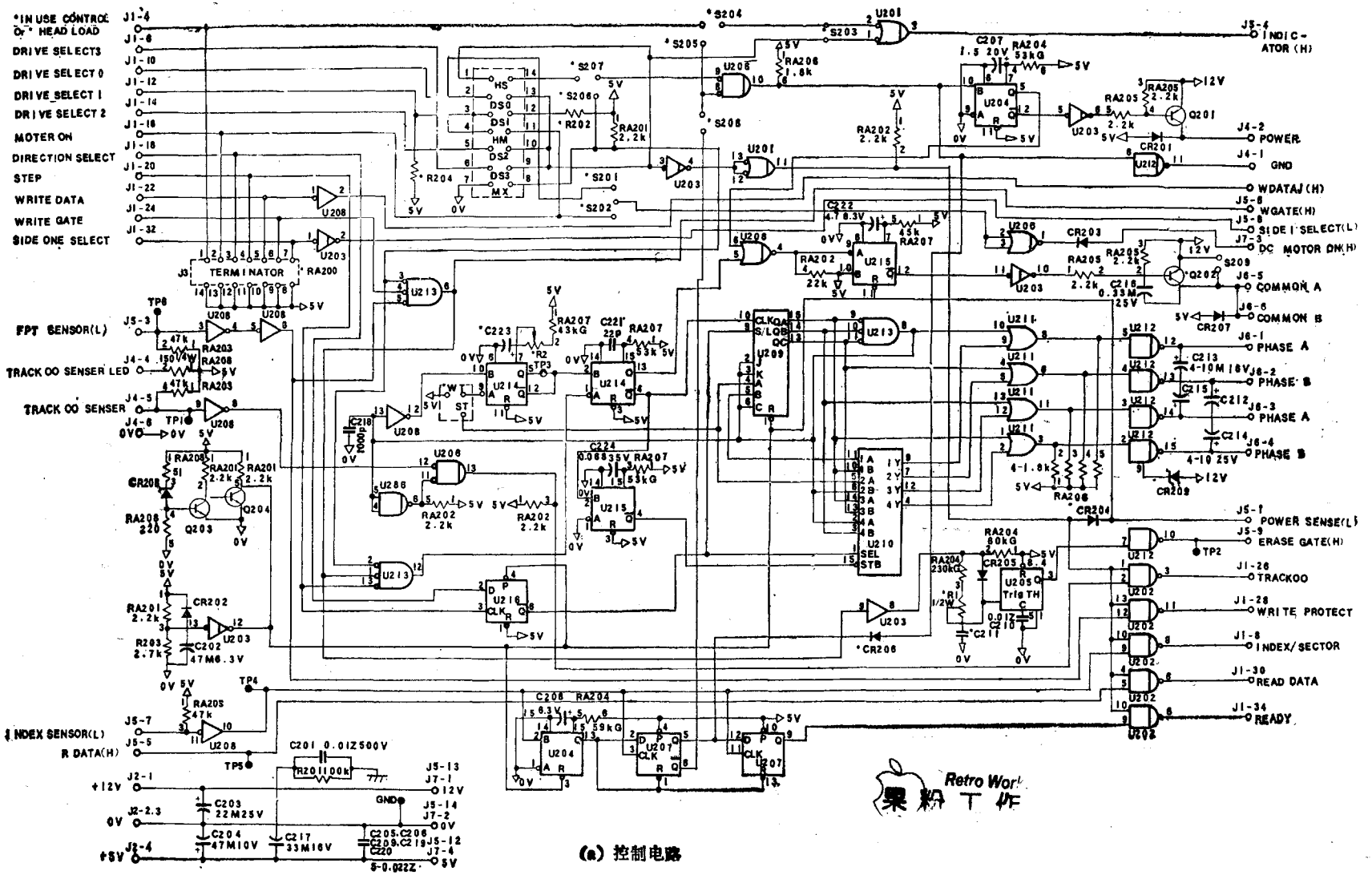


图 6-11　FD-55B 型软盘机机械装配图

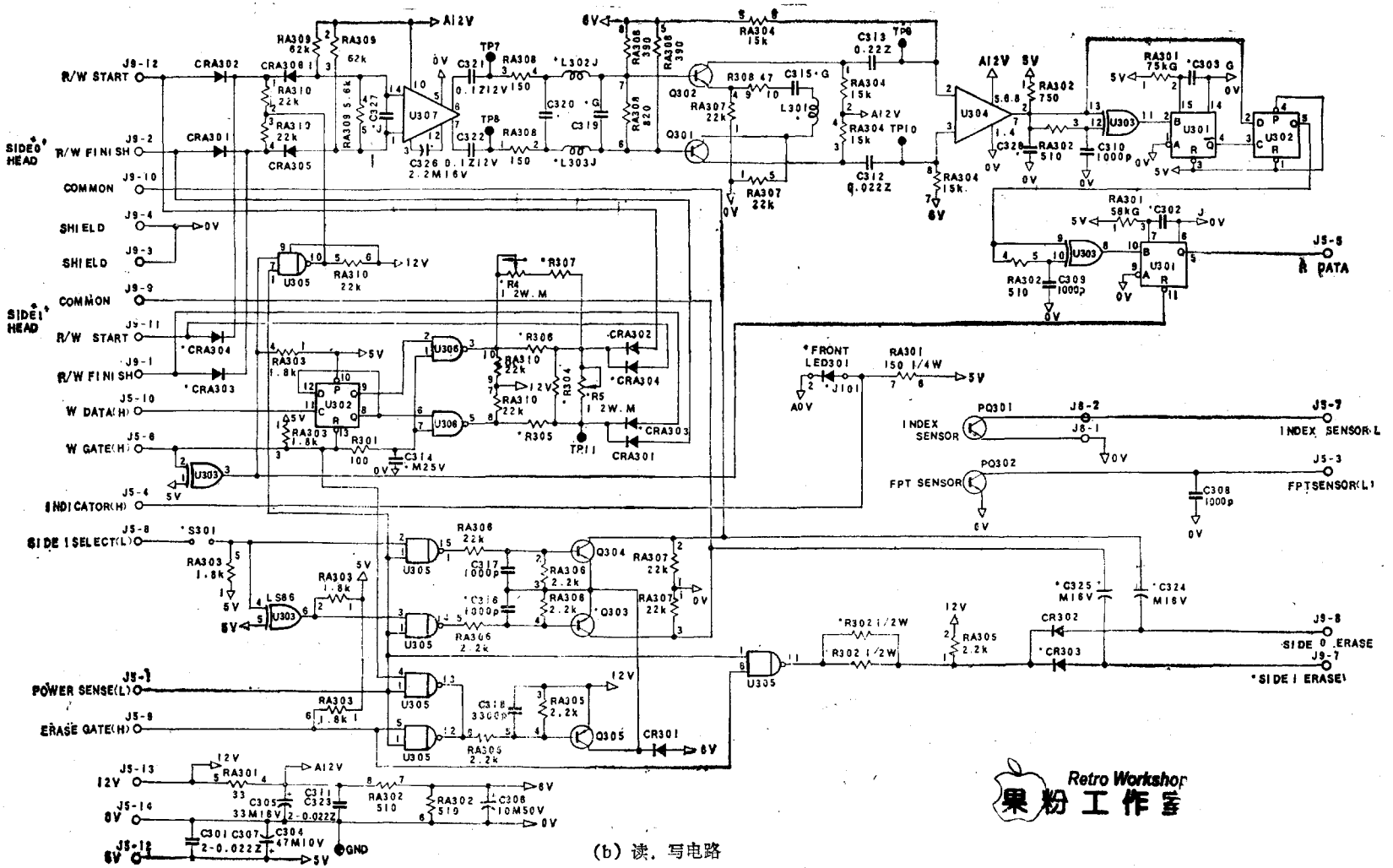
来确定软盘机的选中条件。头加载门确定头加载条件。主轴电机门确定主轴电机旋转条件。检测器包括索引/扇段检测器，“00”磁道检测器，“写保护”检测器，低压敏感器和“准备好”检测器。

低压敏感器(Q203、Q204、CR208、C202、R203等)是在供电电源不稳定时(例如电源接通或断开时)防止软盘机的误动作。敏感器的输出与所有软盘机的输出相“与”。准备好信号检测器由速度检测再触发单稳(U204，13脚Q)和计数器(U207)组成。当插入盘片并且转速超过额定值的50%时，单稳的输出为“真”(高)。在单稳检测到转速达到额定值的50%以后，计数器的第一级(U207)第5脚Q端)检测出第一个索引脉冲。在达到额定转速50%以后的第二个索引脉冲出现时，第二级(U207)第9脚Q端)输出为真(高)。这时准备好(REDY)信号通过输出驱动门，U202(8～10脚)去主机系统。

在检测到准备好信号以后，头加载线圈通过头加载门U206(8～10脚)或CR206激励。在收到头加载信号后，由单稳U204(12脚Q端)和驱动器Q201组成的激励电路26ms


*IN USE CONTROL or * HEAD LOAD
DRIVE SELECT3
DRIVE SELECT 0
DRIVE SELECT 1
DRIVE SELECT 2
MOTER ON
DIRECTION SELECT
STEP
WRITE DATA
WRITE GATE
SIDE ONE SELECT
TERMINATOR
FPT SENSOR(L)
TRACK 00 SENSER LED
TRACK 00 SENSER
INDEX SENSOR(L)
R DATA(H)
INDICATOR (H)
POWER
GND
WDATAJ (H)
WGATE(H)
SIDE 1 SELECT(L)
DC MOTOR ON(H)
COMMON A
COMMON B
PHASE A
PHASE B
PHASE A
PHASE B
POWER SENSE(L)
ERASE GATE(H)
TRACK00
WRITE PROTECT
INDEX/SECTOR
READ DATA
READY
+12V
0V
+5V
GND

(a) 控制电路



(b) 读、写电路

图 6-12　FD-55 型软盘机电原理图

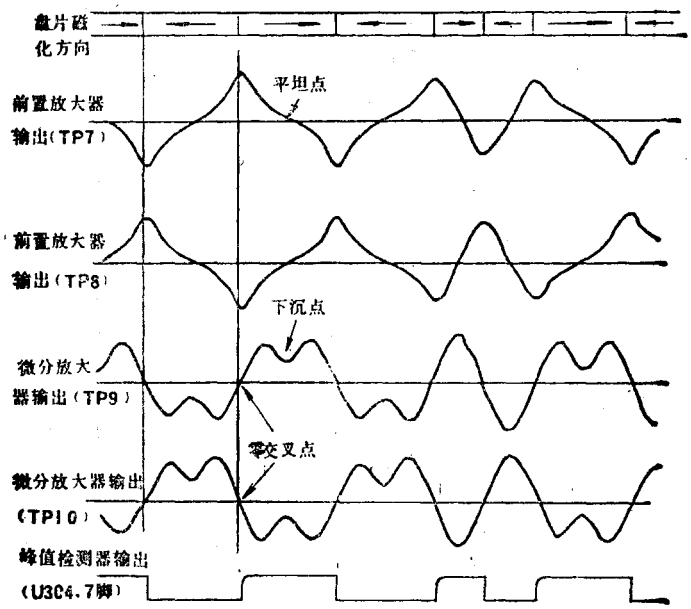


图 6-13 读放大器和峰值检测器波形

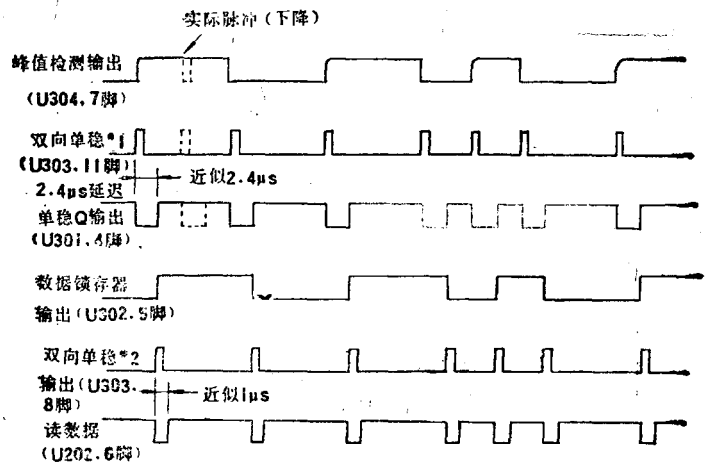


图 6-14 时间滤波器和读门的波形

的延迟将 +12V 电源加到绕圈。

步进电机控制电路由方向锁存器，内部步进脉冲产生器，移位寄存器，二相驱动分配器，过驱动电路和步进电机驱动器等几部分组成。

方向锁存器(U216)第6脚$\overline{Q}$端是指定每一个步进脉冲磁头找道方向的“方向”线的采样和保持电路。

内部步进脉冲发生器由1μs的单稳(U214,$\overline{Q}$ 第4脚)和 3ms 的单稳(U214第12脚$\overline{Q}$)组成。第一个单稳由输入的步进脉冲前沿触发。第二个单稳是在外部输入的步进脉冲经。ms延迟后产生第二个内部步进脉冲。这样每输入一个步进脉冲后，步进电机走两步(3.6°)。方向锁存器和内部步进脉冲产生器的输出送到移位寄存器(U209)和二相驱动选

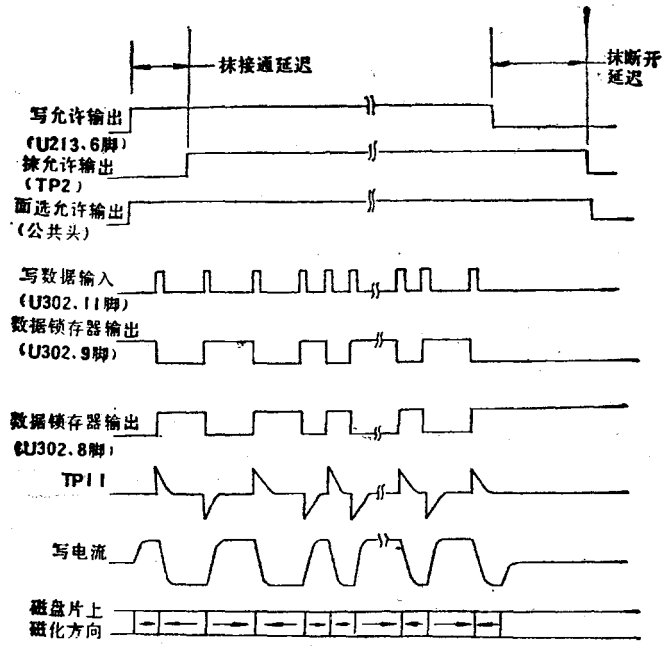


图 6-15　写电路波形图

择器(U210)。它们转换成4相步进电机的相应的单极一相定时驱动(部分二相驱动)信号。然后相驱动信号通过或门(U211)输入到步进电机驱动器 U212(12～15 脚输出)。主要的相驱动定时决定于四位双向移位寄存器(U209)。为了改进寻找时的力矩余量，在驱动相位改变的初始阶段，由 U210 二相驱动选择器部分地提供二相驱动。

内部步进脉冲产生器(U214,Q)的输出还送至过驱动线路去触发过驱动单稳 U215，在单稳作用周期，+12V 电压加到步进电机线圈以产生磁头找道和稳定所必须的足够的力矩。磁头稳定后，步进电机只加 +5V 电源，它仅仅产生停止时的保持力矩。由于以上的考虑，使步进电机停止时的功耗减小到 0.25W 左右。

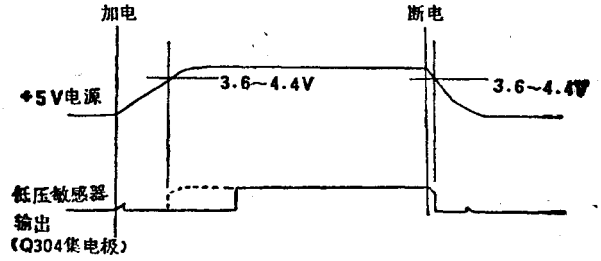


图 6-16　低压敏感器输出波形

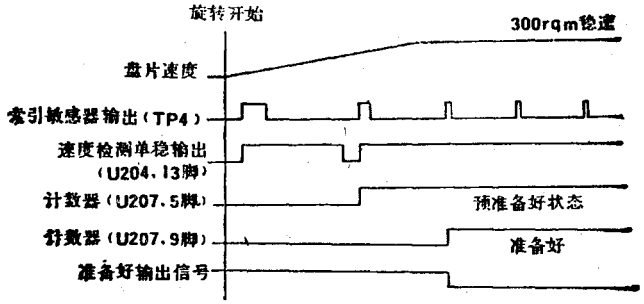


图 6-17　准备好检测信号波形

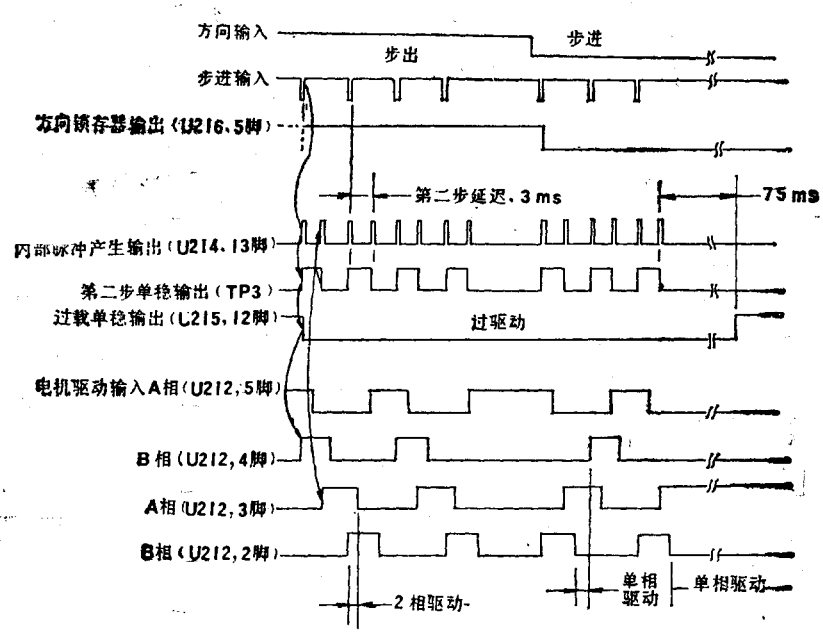


图 6-18　步进电机控制电路的各波形

低压敏感器输出的波形，准备好检测波形和步进电机控制电路的各波形分别参见图6-16图6-17和图6-18。

4. 伺服电路

伺服电路控制转速稳定在300转/分。电机的启动和停止是由控制板上大规模集成电路上电机接通门的 MC 信号来控制。

主轴电机采用长寿命直流无刷电机，它具有三相线圈并用双极性驱动。线圈的驱动是用专门的控制集成电路。线圈的激励和磁化方向由装在转子周围的霍耳元件的信号来控制。

为了保持电机转速的稳定。由装在转子上的测速电机反馈的信号通过控制集成电路转换成驱动电压(F-V转换)。并经过相位补偿电路加至驱动线圈。

5. 各测试点的功能和波形

FD-55B 型软盘机在读写放大器印制板和控制电路印制板上共有 十三个测试点（其中两个为接地点)用作检查和调整。

(1) 控制电路板上测试点1("00"磁道检测点)可观察"00" 光电三极管的输出。此信号与"00"磁道输出信号反相。当磁头在"00"磁道或"00"磁道位置附近时，测试点 1(TP1)为高。在"00"道时 TP1 应大于 3V，在02道时应小于 0.5V。波形见图6-19。

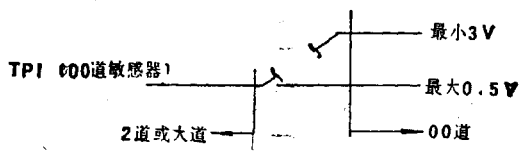


图 6-19　TP1 的典型波形

(2) 控制电路板测试点2(抹门延迟)该 测试 点观察抹门输出。当 TP2 为高电平时，抹电流流到抹头 。TP2 用来检查和调整抹门输出相对于写门输入信号的要求延迟时间。图6-20表示了用电位器 R1 调整的 抹断开时间和固定的抹接通时间。

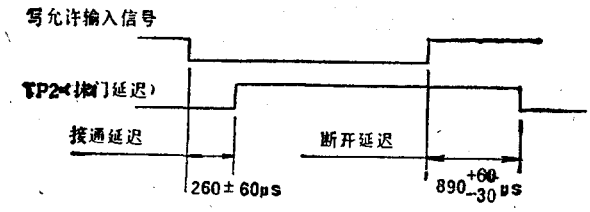


图 6-20 TP2 的典型波形

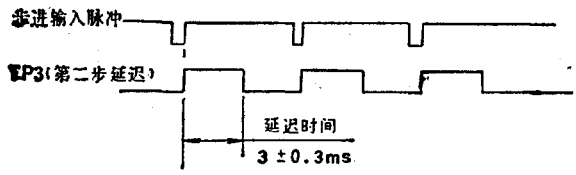


图 6-21 TP3 的典型波形

(3) 控制电路板测试点3(第二步进延迟) 该测试点观察自动产生的第二个步进脉冲的延迟时间。因为FD-55B 对一个步进脉冲的响应是走二步(3.6°)。第二个步进的时间通过电位器 R2 调整并在TP3上观察。典型波形图见图6-21。

(4) 控制电路板测点 4(索引) 该测试点观察索引检测光电三极管经施密特触发器转换后的电平输出。TP4 的信号电平与索引输出信号反相。当检测到索引孔或扇区孔(硬分段盘)时, TP4 观察到正向脉冲。光电三极管装在读写放大器板上, 发光管装在电机伺服板上。测试点4用于下列目的:

①检测和调整盘片的转速。通过伺服电机板上电位器R1调整速度。

②检测和调整索引脉冲串的时间。脉冲串时间是通过调整读写放大器上螺钉孔位置来达到的。

(5) 控制电路板测试点5(读数据)。

该测试点观察读数据脉冲。TP5的信号电平与读数据输出信号反相。

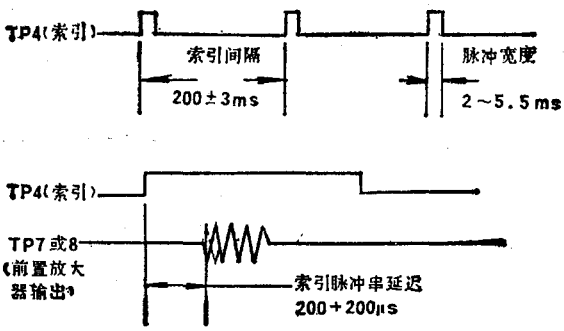


图 6-22 TP4 的典型波形

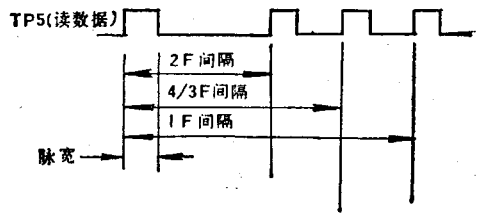


图 6-23 TP5 的典型波形

图6-23所示为正常的 TP5 读数据波形。对于 FM 编码可观察到2F和 1F 的间隔。对于 MFM 编码, 可观察到2F, 4/3F 和 1F 间隔。2F 间隔为 4μs,4/3F 间隔为 6μs, 1F 间隔为8μs, 脉宽为 1±0.5μs。

(6) 控制电路板测试点6(写保护检测) 该测试点观察写保护检测光电三极管的输出。TP6 信号电平为写保护输出信号的反相。在装入写保护缺口封住的盘片时, TP6 为高电平。缺口被阻挡时, TP6 电压应大于 3V, 而缺口开口时, TP6 电压应小于 0.5V。

(7) 读写放大器板测试点7，8(前置放大器) 该测试点观察读前置放大器输出信号。前置放大器有两个差分几十到几百毫伏的电压输出，它们分别由TP7和TP8点上观察。为了精确地观察读出波形。要采用双通道的示波器，并取相加的模式。用G(0V)测试点作为示波器的接地点。TP7和TP8用来检查读写

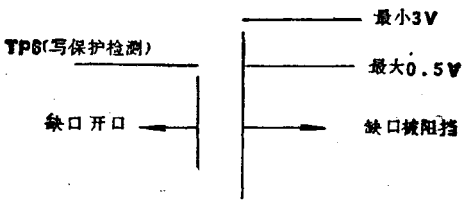


图 6-24 TP6的典型波形

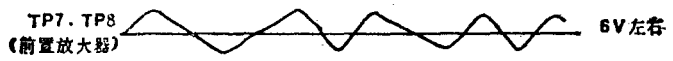


图 6-25 TP7和TP8的典型波形

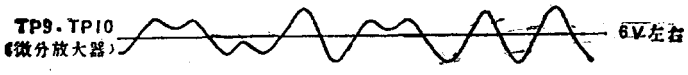


图 6-26 TP9和TP10的典型波形

磁头的各种特性和检查磁头定位机构的径向调整。

(8) 读写放大器板的测试点9,10(微分放大器)该测试点观察微分放大器的输出。它有二个差分输出(反相180。),输出信号大约从几百mV到几伏。分别在TP9和TP10观察。

TP9和TP10用来检查读放大器和读写磁头的特性。检查和调整磁头定位机构的径向调整。

(9) 读写放大器板的测试点11(写入端) 该测试点观察在写操作时读写磁头线圈的写入波形。电位器R5用来调整TP11点的波形。如图6-27所示。在写操作期间，调整R5并观察TP11的波形。波形可以在两种临界状态之间调整。

(10) 控制板和读写板的TPG(0V) 在控制板和读写板上分别有一个TPG测试点。它在测量时作为接地端。

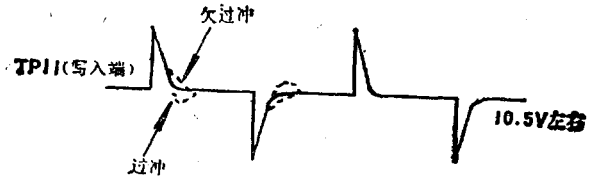


图 6-27 TP11的典型波形

第七章　软盘机的使用及故障分析

第一节　正确用法及常遇到的问题

一、使用知识

1. 盘片的使用

盘片的使用、保存以及运输条件均已讲述过，不再赘述。但必须指出：使用盘片时还应注意几点：有折绉的盘片不宜用；处理的盘片不宜用；有严重积灰的不宜用。另外，盘片不能在烈日下暴晒；不能集中只使用几个磁道；不能用清洗液清洗窗口；盘片不良不仅会带来一连串的故障，严重时还可能将磁头损坏。

2. 软盘机的使用

为能使主机系统可靠安全地运行，启用主机系统时应满足的条件是：

(1) 电源电压要稳。电网电压不能随负载变化，时高时低，超过允许范围。若有此种情况，应采用交流稳压器以保证主机系统电源电压的稳定。

(2) 环境　如无机房条件，一般应具备办公室的条件，温度范围10～40℃，湿度范围20%～80%，湿球温度小于29℃

实际上，软盘机的使用条件，主要是考虑盘片的使用要求。建议在上述条件时，温度的变化率不超过每小时20℃，盘片不应受潮。

(3) 抗干扰　计算机工作时既不允许别的设备干扰主机系统工作，也不允许主机系统的工作干扰别的设备。为了防止干扰，最好采用屏蔽或接好地线。

3. 应注意的问题

为了保证软盘机的正常使用，关键是经常保持清洁。软盘机工作时必须使盘片和磁头接触良好。如果在磁头和盘片之间渗入灰尘或污物，轻则影响信息的存取，重则划伤盘片或磁头。具体的做法是：

(1) 保持室内清洁。特别是禁止在室内吸烟。因为烟灰如掉入磁头盘片之间，将会造成危害。

(2) 定期(2～3月)清洗磁头。每次不应超过2分钟。否则，会使磁头磨损厉害，降低软盘机的寿命。具体方法是：对于单面磁盘机用镜头纸沾上异丙醇轻轻地擦试磁头1～2遍就可以了。对于双面软盘机，必须用清洗盘片。让清洗盘片插入磁盘机，使主轴电机旋转几秒钟就可以了。清洗磁头时不要重复使用某一磁道。最好的办法是第一次用“00”道，第二次用“01”道，第三次用“02”道，依此类推。每次使用完毕后作一记录，以便下次使用时参考。

二、常遇到的问题

在微型计算机系统中，若要把数据写到软盘片上，首先应将读写磁头移动到目的

磁道。然后，依次读出扇区地址。如果读出的扇区地址和目的扇区地址一致，则将数据写到它后面的数据区中。反之，若要从盘片上读出数据。其过程也相似。

软盘存储器在读出或写入过程中，可能会有出错的情况。出错的原因很多，这里有计算机故障、接口故障、软盘机的故障、软盘片损坏等。现着重讨论软盘机和软盘片引起的错误。

当用微型计算机进行软盘片读写时，常遇到如下出错显示：

(1) 读地址区的地址或读数据区的数据时，出现 CRC 错；

(2) 找不到磁盘地址；

(3) 完全读不出盘片上的数据。

一般说来，软盘机故障或软盘片的故障均可能引起以上出错显示。如果遇到这种情况，首先应该分清是软盘机的故障还是软盘片故障。为了区分故障，可用一张已经初始化，而且无缺陷的新盘片进行读写。若错误未消失，可以利用系统中的初始化程序对新盘片重新初始化，再进行读写操作。若错误仍未消除，则说明是软盘机的故障。若错误已经消除，则说明多半是软盘片的故障。

对于出现完全读不出盘片上的数据，可以这样考虑：若对新盘片重新初始化后，读写该盘片正常，但读写其它软盘片不正常时，则可能有两种情况：第一，该盘片可能是其它主机系统上造成的不正常。原因可能是磁盘操作系统不同，文件管理系统不同；或者是盘片的磁道格式不同，例如每道的扇区数不同；或者是软盘机之间的互换性能差等等。第二，读写本系统的盘片不正常(但先前读写正常时)，可能是磁头定位系统发生故障，或者索引孔光电检测装置的位置发生了变化。

总之，当读写软盘片出现错误时，可用上述简单办法区分是软盘片引起的，还是软盘机引起的错误。在分析出错原因时，要把错误的类型和磁道格式的内容紧密联系起来，才能迅速查出错误的原因。

第二节　软盘机互换性及其测量

软盘机是一种可换盘片存储装置。互换性是可换盘片存储装置一项很重要的指标。所谓互换性是指把在一台磁盘机写入信息的盘片，拿到另一台磁盘机上，应仍能正确地读出(当然主机系统必须是兼容的)。互换性保证了不同用户之间的盘片可互相交流使用。从而使系统软件和应用软件可作为一种商品提供给用户。

一、影响互换性的因素

影响软盘机互换性的因素很多，如：磁头定位精度，磁头切向角误差，索引位置的误差，盘片的格式化方式以及磁头和媒体间的电磁特性等。但其中以定位精度的因素影响最大。本节将讨论定位精度的定义、提高定位精度的措施和测量方法，并对保证定位精度的一个重要技术手段——调机用校准盘片作比较详细的介绍。

1. 定位精度的定义

定位精度是指在盘片上磁头读写缝隙与盘片上实际磁道位置的精度误差。磁头的读和写缝隙的不重合就可能使信噪比下降，甚至严重到信号失真，造成读出错。所以，

从某种意义上来说，互换性也是可靠性的指标。

对5.25英寸软盘机来说，盘片上名义磁道位置决定于下式。

$$R_{n0}(mm) = 57.151 - \frac{n}{T} 25.4 \qquad 0面$$

$$R_{n1}(mm) = 55.034 - \frac{n}{T} 25.4 \qquad 1面$$

式中：n 为磁道号

T 为磁道密度

R_{n0} 和 R_{n1} 分别是0面和1面从盘片中心到道中心的距离。实际磁头的定位位置总是与名义的磁道位置存在一个定位误差 Δ。下面来分析 Δ 的影响。

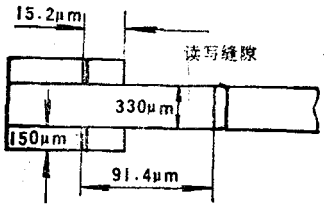


图 7-1　隧道抹磁头的基本结构

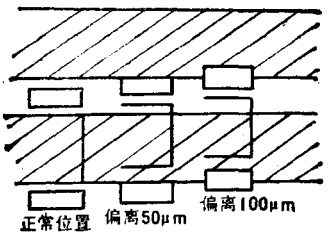


图 7-2　定位精度误差的影响

图7-1为软盘机中最常用的隧道抹磁头的基本结构。图中表示了读写缝隙和抹去缝隙之间的关系。它的读写磁道宽度为 330μm，抹去宽度为 150μm。图7-2表示了定位精度的误差对相邻磁道的影响。对道密度为 48TPI 的软盘机来说，道间距离为 529μm。图中列出了三种情况。第一种是无定位误差的情况。第二种情况是写入磁道的位置偏离了名义值的 50μm。由图可看出抹去磁头对相邻的磁道基本上没有影响。第三种是偏离 100μm 的情况。这时抹去磁头抹除了一部分相邻磁道的信息，从而使相邻磁道的读出幅度降低。

磁头位置的偏离值Δ，对于道密度为48TPI的软盘机，一般允许值取100μm；对于96TPI 的软盘机，允许值为 75μm。

2. 影响定位精度的因素

(1) 磁头定位机构的误差　它是由步进电机步距的积累误差、钢带的弹性收缩以及钢带的厚薄不均匀等因素引起的。磁头定位机构的误差是影响定位精度因素中最主要的因素。对于道密度为 48TPI 的软盘机来说，这部分误差应控制在 ±50μm 以内。

(2) 磁头小车位置调整误差　磁头小车位置的调整是用标准盘片在中间磁道上进行。道密度为 48TPI 的软盘机在16道上进行调整。校准盘片的误差、人的视觉误差以及磁头小车的空回(Hysteresis)是造成调整误差的几项因素。调整误差一般应控制在 ±30μm 以内。

(3) 主轴轮毂及磁盘夹紧机构的误差　它是由于主轴的径向跳动、装配误差以及盘片定位孔的加工误差造成盘片和主轴不同心，最终造成盘片偏摆而引起的。此外，软盘机框架的导槽松动也会引起盘片插入时主轴轮毂和盘片中导孔位置的偏离。磁盘夹紧机构

造成的定位误差一般应限制在 ±20μm之内。

(4) 温度和湿度的影响　由于温度和湿度的变化，使盘片上磁道伸缩导致实际磁道位置偏离了名义磁道，也是造成定位误差的主要因素之一。盘片的温度膨胀系数为24.84×10^{-6}/℃ 盘片的湿度膨胀系数为 15×10^{-6}/RH%。

举例来说，盘片从10℃相对湿度20%的环境变化到35℃，相对湿度80%，总共变化了25℃和60%RH，由于环境变化使实际磁道偏离值 Δ' 为

$$\Delta' = 25\times 24.84\times 10^{-6} + 60\times 15\times 10^{-6} = 0.015\text{英寸} \approx 38\mu m$$

温度和湿度变化引起媒体的膨胀和收缩，一般应限制在±40μm以内。

3. 减小定位误差的措施

(1) 采用高精度步进电机　在定位机构中用高精度步进电机，把步进电机的定子由四极改为八极，使步进增量从3.6° 减小到1.8° ，以提高步进精度。

(2) 对校准盘片的控制　校准盘片受温度和湿度的影响而伸缩，使磁头小车位置调整的基准产生偏移。因此必须对校准盘片进行控制，措施如下：

①控制校准盘片使用环境的温度，一般温度应控制在20°～25℃ 和 相对温度为40%～60%的工作环境内。

②用校准过的高精度软盘机定期(每日)检查校准盘片的误差。并将误差以百分比形式填写在校准盘片上，作为测试径向误差的校正值。

(3) 盘片夹紧装置的改进　早期的全高软盘机的盘片夹紧装置采用门框式关门机构。弹性夹套与轮毂在夹紧盘片时并不是垂直运动，而是有一定角度的。因此定中心较差，造成盘片旋转的偏心，严重的还会夹坏盘片。目前半高软盘机经过改进，大多采用杠杆式关门机构。夹紧盘片时轮毂和弹性夹套之间是垂直移动的。因而定中心准确，磨损小。

(4) 减小温度和湿度的变化引起的磁道偏离　为了减小温度和湿度变化引起的磁道偏移，采取如下措施：

①选用温度和湿度膨胀系数较小的盘片。

②限制软盘机的使用环境。

③在结构设计时，使软盘机从主轴到读写磁头机构的温度膨胀系数尽可能同盘片材料的温度系数一致。

二、定位精度的测量

1. 定位精度的测量方法

定位精度的测试可分为模拟法和数字法两种。模拟法是用模拟校准盘片和软盘机练习仪在示波器上观察模拟波形来调整和测量软盘机的定位误差。它的主要特点是：

①直接观察波形，调整和测量比较直观。

②校准盘片便于检查和校正。

模拟法适合于对软盘机的修理和调整。

数字法是用偏离磁道盘片，专用磁盘测试仪和相应的应用程序在CRT上显示出定位误差。它的特点是：

①测试结果不需换算而直接读出，调试人员不需专门培训；

②测试时不需拆开软盘机，测试迅速、方便；

③结果可打印，便于存档；

④可进行多项测试，除了测试径向误差外，还可测试磁头位置的空回，“0”头和“1”头的位置误差和磁头位置的线性度。

数字法适用于批量生产的最终测试和用户厂的进厂验收。

2．测试定位精度用的校准盘片

定位精度的调整和测试都离不开校准盘片。校准盘片可分为两种，即模拟法采用的模拟校准盘片和数字法采用的数字诊断盘片(亦称编离磁道盘片)。

(1) 模拟校准盘片模拟校准盘片上刻写的标准信号是两个与盘片中心偏心的同心圆环，如图7-3所示。标准信号的圆心0与盘片的圆心 0′ 的偏心值Ecc = 00′ = 0.008英寸。两个同心圆环分别称为内信道B和外信道A。内外信道间的间隙为L = 0.012英寸。两个信道的中心到0′的距离等于标准磁道中心位置到旋转中心的距离。把这种盘片装到软盘机上时，盘片绕0点旋转，磁头读出两个信道中的A区和B区的信号。A区属于外信道，B区属于内信道。A区和B区间隔180° 并都呈弯月形。因此，读出的的信号在示波器上有如图7-4所示的猫眼形状，此信号称为猫眼信号。

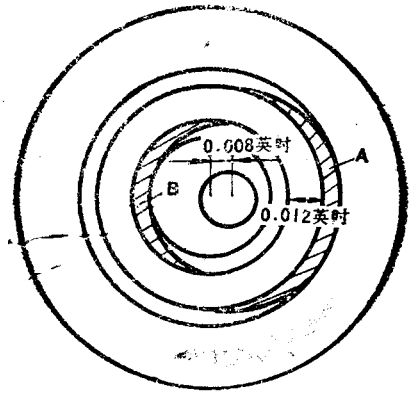


图 7-3　模拟校准盘片

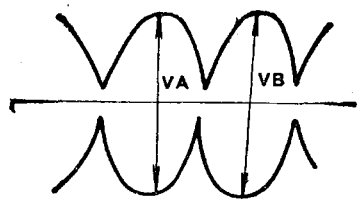


图 7-4　猫眼信号

当磁头往里道方向偏离标准磁道时，磁头的读写缝隙的半径减小，便图 7-4中 V_A 减小而 V_B 增加。因此，我们可用 V_A 和 V_B 的比值来表示磁头与标准磁道位置偏离值的大小。表示式为：

$$L_R = \frac{Y_{min}}{V_{max}}$$

式中：L_R—波瓣比，它的值总是小于1

Y_{min}—猫眼图形中小的波瓣幅值

Y_{max}—猫眼图形中大的波瓣幅值

软盘机磁头与标准磁道偏离值Δ和LR的关系式为：

$$\Delta = \frac{(1 - L_R)}{(1 + L_R)}\left(\frac{W - L}{2} + Ecc\right)$$

式中：Δ—磁头位置偏离值

W—读写磁头宽度

L—内外信道间隙的宽度

Ecc—内外信道偏心值

对于道密度为48TPI的校准盘片来说，W = 0.012英寸，L = 0.012英寸，Ecc = 0.008英寸，将值代入上式可得：

$$\Delta = 8000\left(\frac{1-L_R}{1+L_R}\right)\text{微英寸}$$

若已知 Δ，则

$$L_R = \frac{8000-\Delta}{8000+\Delta}$$

对于 96TPI 的校准盘片，计算公式为

$$\Delta = \left(\frac{1-L_R}{1+L_R}\right)5000\text{微英寸}$$

或 $$L_R = \frac{5000-\Delta}{5000+\Delta}$$

举例来说测试某软盘机的猫眼信号。左波瓣 = 500mV，右波瓣 = 400mV

先求 $$L_R = \frac{V_{min}}{V_{max}} = 0.8$$

则 $$\Delta = \frac{1-0.8}{1+0.8}\times 8000 = 889\text{微英寸} \approx 22.6\mu m$$

左波瓣大表示磁头偏向里道，其偏离值为 22.6μm。

(2) 偏离磁道盘片　偏离磁道盘片亦称数字诊断盘片。在这种盘片上，测试数据的字段按圆周和径向记录在指定的磁道和扇区内。根据软盘机是否能读出指定扇区的信息来确定软盘机定位精度等各项指标。

偏离磁道盘片按刻写的形式可分为放射型和交替型两种。

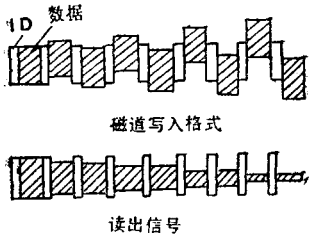


图 7-5　放射型数字诊断盘片

①放射型数字诊断盘片　盘片上磁道和扇区的ID(识别)信息处在磁道的中央，而数据字段逐渐偏离磁道。从第一扇区开始逐次偏离磁道中心，并交替的远离或接近主轴，如图 7-5 所示。如果首先读出某一扇区出错，则软盘机偏离磁道的编号即为此扇区号。磁头在磁道中心的读出信号见图 7-5。从图中可看出，随着扇区号的增加，读出信息逐渐减小。

当磁头偏离磁道时，某些扇区读出信息将更小，从而引起数据读出错。出错的扇区数愈多则磁头偏离量愈大。奇数扇区出错表示磁头往外道偏离；而偶数扇区出错表示磁头往里道偏离。放射型盘片需要专门的软盘机测试仪和有关的应用程序与之配合使用，对软盘机的定位精度进行定量分析。

②交替型数据诊断盘片　交替型盘片上磁道和扇区的ID信息处在磁道的中间，而数据字段交替地偏离磁道。磁道的写入格式和读出信号见图7-6。当磁头往里道偏离时，奇数扇区读出信号增大，偶数扇区读出信号减小。当磁头向“00”道偏离时，奇数扇区信

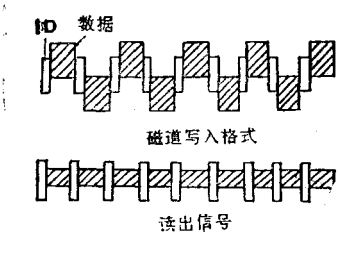


图 7-6 交替型数字诊断盘片

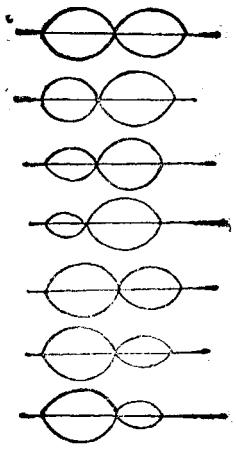


图 7-7 各种偏离情况下的波瓣图

号减小而偶数扇区读出信号增大。偏离到一定值时引起数据读出错，此时表示软盘机定位精度超差。

3. 定位精度的测试

(1) 模拟法 模拟法是用测试仪将磁头定位到中间磁道(48TPI软盘机为16道，96TPI的软盘机为32道)。用示波器观察读出放大器输出波形，观察波形的两个波瓣的幅值VA和VB，然后计算出LR。图7-7列出了磁头各种偏离磁道情况下的波形。

在测试LR时应根据在校准盘片上记录的±X%校正值进行校正计算，方法如下：

①校准盘片上正和负百分比的定义：

负的百分比意味着校准盘片上的标准信号偏向于里道。在标准软盘机上观察的波形是左波瓣大于右波瓣。

正的百分比意味着校准盘片上的标准信号偏向于外道。在标准软盘机上观察的波形是右波瓣大于左波瓣。

②校正计算举例

(a)校准盘片的校正值为－6%如果读出LR为100(左波瓣)/85(右波瓣)，应将小的波瓣加6%，校正后的结果为100/91。如果读出的LR为85(左波瓣)/100(右波瓣)，应将小的波瓣减6%，校正后的结果为79/100。

(b)校准盘片的校正值为＋6%如读出的LR为100/85，则将小的波瓣减6%，校正后的结果为100/79。如果读出的LR为85/100，应将小的波瓣加6%，校正后的结果为91‰。

(2)数字法 数字法是使用专用软盘测试仪或通用的微型计算机系统及相应的应用程序和数字诊断盘片。测试程序简单，操作方便。其测试结果直接显示在CRT上。并可将测试结果打印，以便存档。应该注意的是在测试时应保持15°～25℃的温度和40～60%相对湿度的环境。这样可防止校准盘片随温度和湿度的变形而造成的测试误差。

三、磁头方位角和索引孔位置的偏差及测量

1. 磁头方位角偏差及其测量

方位角偏差的定义是实际盘片的径向线与磁头缝隙之间的夹角。它可能是磁头读写

缝隙相对于理想位置旋转了一个角度或平移了一段距离。磁头方位角偏差往往是磁头小车的导轨安装中心与主轴中心之间的偏移造成的。最恶劣的情况是在盘片的内道。见图

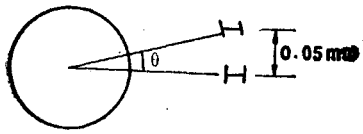


图 7-8　方位角偏差

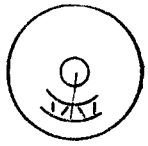


图 7-9　方位角校准信号在盘片中的位置

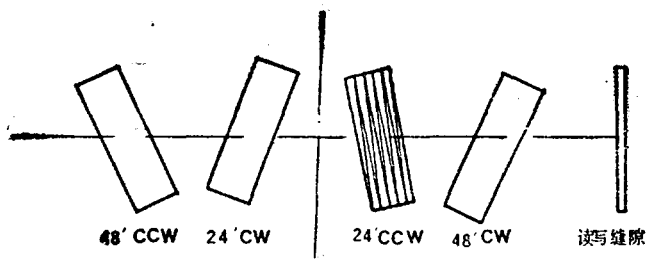


图 7-10　12′方位角校备准波形

7-8。最内道直径为 34mm。如果安装中心偏差为 0.05mm，则 $tg\theta = \frac{0.05}{34} = 0.00147$

$\theta = 5'$ 方位角偏差是影响软盘机互换性的重要指标之一。

方位角偏差的测定需要使用校准盘片上的校正信号。方位角校正信号在校准盘片上的位置如图 7-9 所示。一般校正信号刻写在34道或 33 道上。

方位角校准波形是由四组不同角度刻写的 2F 频率的脉冲区组成的(见图 7-10)。这四种不同角度是：48′CCW，24′CW，24′CCW 和 48′CW。CW 表示顺时钟方向旋转，CCW表示逆时钟方向旋转。例如，30′CC W表示逆时钟方向旋转了 30 分角度。

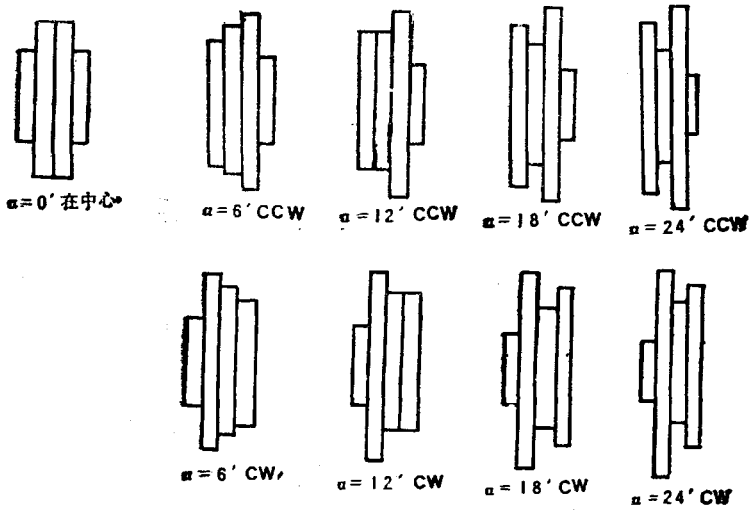


图 7-11　不同磁头方位角偏差时读出波形的影响

图 7-11 给出了当磁头方位角在各种偏差角时读出的波形图。当读出磁头方位角偏差 $\alpha = 0'$ 时，在示波器上显示的读出校正波形 24′CW 和 24′CCW 幅度是相等的，而 48′CW 和 48，CCW 的读出幅度也是相等的。但是48′的幅度小于 24′的幅度。读出波形见图7-11。

如果读出磁头顺时钟方向方位角偏差为24′，则读出的波形中24′CW幅度最大，48′CW

幅度第二，而48′CCW读出幅度为最低。

如果读出磁头顺时钟方向方位角偏差为12′，则读出的波形中 24′CCW 和 48′CW 两个脉冲区，读出的波形幅度相等。因为这两个脉冲区与读写缝隙的夹角都为36′。

根据读出磁头对标准盘片上校正信号的读出波形，我们可以定量地分析出该软盘机方位角的偏差。但这种定量分析是不太精确并且是很费时的。在实际的软盘机方位角偏差测试和调整时，我们希望快速地测定合格或不合格。例如某型号的软盘机方位角允许偏差为 12′。我们选用图 7-10 所示的 12′ 方位角校正波形的校准盘片。当测出的波形中间两个脉冲区读出的幅度大于两旁的两个读出脉冲区幅度时，该软盘机方位角偏差是小于 12′ 的，因此是合格的。当中间两个脉冲区读出的幅度小于两旁任意一个脉冲区的读出幅度时，则该软盘机方位角的偏差超过了 12′，因此是不合格。

2. 索引孔位置的偏差及其测量

索引孔位置的偏差也是影响软盘机互换性的因素之一。索引孔位置的偏差造成的原因除了索引孔安装位置的调整误差之外，盘片夹紧装置的中心偏差也是影响索引孔位置偏差的一个主要因素。

索引孔位置的偏差也是通过校准盘片预先写入的校准信号来测定的。校正信号是两个脉冲区间分别位于 01 道和 38 道。脉冲区域的前沿离开索引孔的时间为 200μs，见图 7-12。

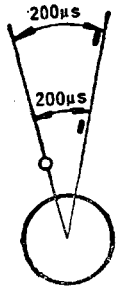


图 7-12　索引孔位置校准信号

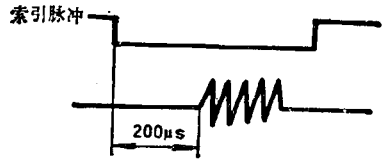


图 7-13　索引孔到脉冲区域距离的测量

索引孔位置偏差的测试是以索引孔作为同步信号，测量索引孔到脉冲区域的距离，如图7-13所示。大部分磁盘机的指标为200±100μs。

第三节　软盘机的检查和调整

一、检查和调整用的仪器设备

1. 校准软盘片

可用于校准 TM-100、FD-55B 和 YD-580 型软盘机的校准盘片有 DYMEK 公司的 DK502-1、DYSAN 公司的 224、DATUM 公司的 48E12 和 shugart 公司的 SA127、SA129 等。校准盘片价格在 200 元左右，使用时应小心，以免破坏预先记录的标准磁道信号，尤其要保护好16道的信号。以DATUM 公司的 48E12 校准盘片为例，它在盘片上有如下标准信号：

表7-1　校准软盘片上的标准信号

磁　道	信　号	作　用
0 0	2F(125KHz)信号	"00"道检测校正
0 1	索引脉冲串	索引检测器定时校准
1 6	"猫眼"波辫	读字磁头径向调整
3 2	1F(62.5KHz)信号	测读出分辨率
3 3	2F(125KHz)信号	测读出分辨率
3 4	方位角调整信号	读写头切向调整
3 9	2F(125KHz)信号	最大道检测校准

2. 数据盘片

IBMPC 采用的是双面双密度软盘片。软盘片的质量对读写的出错率有很大的影响。这里推荐几家质量较好的厂家：DYSAN、3M、MAXELL、MEMOREX 和 BASF 等。

3. 软盘机测试仪

在软盘机的维修过程中，为了判定故障的部位，需要一台简易的脱机测试仪。这里以中国磁记录设备公司杭州磁记录设备厂生产的"Y14-2"型5.25英寸磁盘机测试仪为例。它既可测试5.25英寸硬盘机又可测5.25英寸软盘机；既可测配 IBM-PC 的软盘机，又可测配 Apple-Ⅱ 的软盘机。是磁盘机维修站必备的测试仪器。对软盘机的测试来说，它可以给出调整和校验信号。如设备选、面选、归"00"道、单拍寻找、自动寻找、两地址寻找、读和写信号等。并且有电源接通、"00"道、写保护、准备好、索引和地址等显示。它虽然没有灵活的处理数据能力，但能发出全"0(1F)"、全"1(2F)和"花码"等数据信息。可用来检查磁盘机的读写性能，并可测量读出幅度、分辨率和调制度等软盘机重要参数。

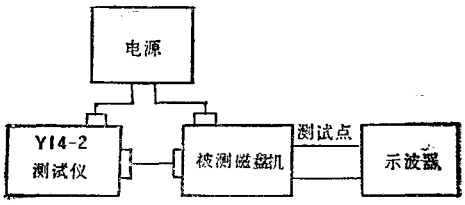


图 7-14　测试仪器连接框图

其它有通用双踪示波器，直流稳压电源(+12V，1A，+5V2A)等。测试仪的连接框图如图 7-14 所示。

二、软盘机的主要性能指标

维修的目的是使有故障的磁盘机恢复到正常使用。也就是说它的主要性能应恢复到原来产品的出厂指标。在维修过程中我们要用性能指标来判断故障及其部位并相应进行调整。在维修过程的最后还要对修复好的软盘机各项性能指标进行一次全面的检查。下面以 TM-100 型软盘机为例列出它的主要性能指标。

(1) 读出幅度　在39道检查前置放大器输出信号的幅度。对于2F(125KHz)的信号，读出幅度应大于 100mV；对于 1F(62.5KHz)的信号，读出幅度应大于 200mV。

(2) 分辨率

$$\text{分辨率} = \frac{\text{2F读出幅度}}{\text{1F读出幅度}} \times 100\%$$

分辨率应大于 40%。

(3) 不对称性　在39道写入1F信号，然后读出，数据信号的不对称性应小於

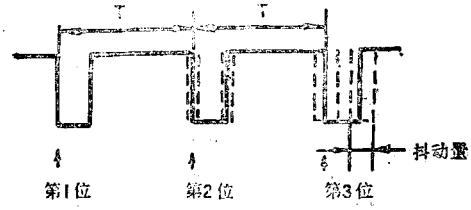


图 7-15　数据的抖动性

600ns。

（4）抖动性　即读出数据脉冲的抖动量。如图 7-15 所示，它是由于盘片转动时瞬时速度变化引起的。用示波器观察的读出数据脉冲，其第一个脉冲是触发脉冲，显示应该是稳定的；从第二个脉冲开始，显示的脉冲是抖动的。一般定义第三个脉冲后沿跳动的宽度为抖动量。

（5）索引脉冲时间　　200 ± 100us

（6）“00”道调整误差　　小於0.1mm

（7）径向校正　　“猫眼”波瓣比小于70%

（8）方位角偏差　　小于18

（9）电机转速　　300转/分 ± 1.5%

（10）具有写保护功能

三、检查与调整方法

1. 电机转速的测试和调整

（1）启动电机，插入盘片并使磁头加载；

（2）在日光灯照射的场合下，调节软盘机电机控制板 R4，直到在主轴皮带轮上黑色线条出现为止。对于50Hz的交流电源用内圈观察。一般观察50周测速条在 5 秒内移动距离小于一个条纹即为合格，如图7-16所示

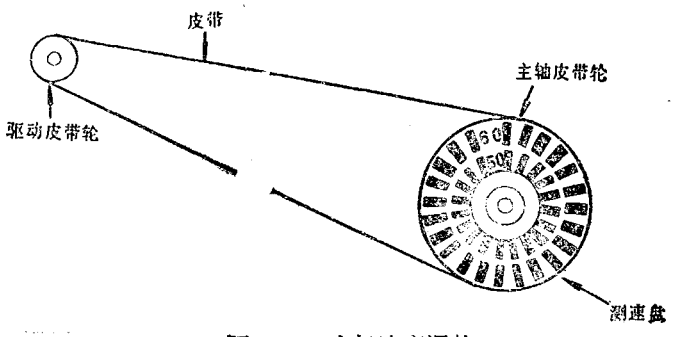


图 7-16　电机速度调整

（3）用频率计也可调整电机转速。将频率计数器的探头连接软盘机印制板TP7（索引），调节R4，使频率达到5 ± 0.075Hz。

2. “00”道检查和调整

（1）将软盘机步进到“00”道。检查 TP8 应为低电平。如果 TP8 不为低电平，松开“00”道开关螺钉，将“00”道开关调整到出现低电平为止。再稍为拧紧螺钉。

（2）步进到 01 道检查 TP8 应为高电平，如果不为高电平，则松开“00”道开关螺钉，将“00”道向后微调一点直到 TP8 出现高电平为止。

（3）使软盘机在“00”道和“01””道之间进行两地址寻找。松开螺钉，微调“00”道开关，使 TP8 观察到方波的占空比为 50%，如图 7-17 所示

3. 磁头写入波形检查

（1）启动电机，插入数据盘片，将测试仪置于写的位置。

（2）拨动选头开关，用示波器测量磁头插座J5和J6的1、3、6、8四个接点，观察到的波形应如图7-18所示。

图 7-17 “00”道检测(占空比50%)

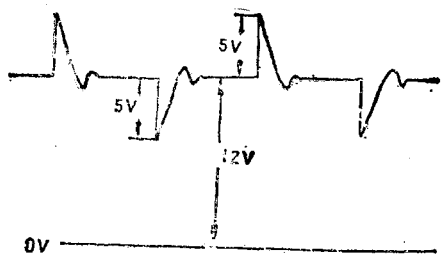


图 7-18 磁头写入波形

(3) 如果看不到写入波形或写入波形有明显的畸变，均说明磁头或插头座或选头电路有故障。

4. 读出信号幅度的检查

(1) 启动电机，装入数据盘片，将磁头小车步进到39道。

(2) 将TP7(索引)接示波器“外同步”，把两个探头分别接到印制板TP1和TP2，并在印制板上接地。将一个输入反向，并且两输入相加，电压基准为50mV/格，时间基准为2μs/格。

(3) 选中上磁头，在其磁道上写入2F(125KHz)信号，然后置测试仪为读的位置。测量读出幅度的最小峰峰值应大于100mV。

(4) 选中下磁头，重复(3)的步骤。

(5) 选中下磁头，在其磁道上写入1F(62.5KHz)的信号，然后置测试仪为读的位置。测量读出幅度最小电压的峰峰值应大于200mV。

(6) 选中上磁头，重复(5)的步骤。

(7) 将示波器转换成“连续”方式。分别检查TP1和TP2的输出。如果一个测试点无信号或信号明显小於另一个输出，则交换一下磁头电缆的位置。如果同一测试点输出无信号或信号很小，则说明印制板有故障；如果相反的测试点输出无信号或信号很小，则说明磁头部件有故障。

5. 数据抖动性测试

(1) 启动电机，插入数据盘片，将磁头小车归到“00”道。

(2) 示波器开关置于单通道，TP6作为“外同步”信号，时间基准置于1ms/格，电压基准置于0.2V/格。

(3) 写入1F(62.5KHz)信息，然后读，观察示波器第三个脉冲后沿的跳动量应小于

500ns。

如果超出技术指标，可能的原因有以下三种：

(1) 主轴驱动电机性能变坏，瞬间速度变化大；

(2) 皮带轮、轴承、主轴的精度、光洁度和偏心度的误差；

(3) 皮带不光滑、疵点或拉长。皮带轮使用时间长后，皮带磨损拉长，摩擦力减小会造成数据的抖动。最后的办法是更换皮带。更换时应注意皮带光滑的一面要向内与皮带轮接触。

6. 数据不对称性的测试和调整

(1) 启动电机，插入数据盘片，将磁头小车步进到39道。写入2F(125KHz)信号，然后读。

(2) 置示波器于第二通道同步。示波器第一通道接TP1置20mV/格，交流。示波器第二通道接TP6，电压基准为200mV/格，交流。时间基准为2μs/格。

(3) 将示波器显示的第二个脉冲移到屏幕的中心位置，拉出“×10”开关。示波器显示如图7-19所示的波形。

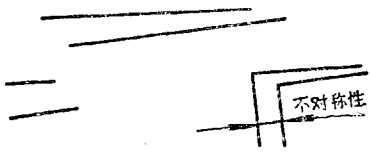


图 7-19 不对称性的测量

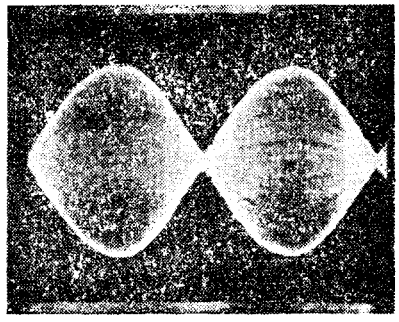


图 7-20 波瓣比波形

(4) 如果示波器显示的不对称性超过500ns，可以用改变印制电路板上R_4或R_5的阻值来进行调整。

7. 磁头径向位置的检查和调整

(1) 启动电机，插入校准盘片，步进到16道。

(2) 用TP7(索引)作为示波器的外触发同步，时间基准为20ms/格。将两个探头接到TP1和TP2。探头在印制板上接地。垂直刻度置于100mV/格，并置示波器开关在相加、交流和一个通道反相。

观察示波器的波形应为图7-20所示的波形。两个波瓣接近相等。如果波瓣比小于70%，则松开步进电机安装螺钉，调节调整螺钉，使两个波瓣幅度接近相等，然后将步进电机安装螺钉拧紧。

(4) 步进离开16道，再返回16道，检查波瓣比是否合格，如不合格还应重新调整。

(5) 磁头径向位置调整好后，必须重新检查“00”道检测器和限位器的位置。

8. 磁头切向位置的检查和调整

(1) 启动电机，插入校准盘片，将磁头小车步进到33道。

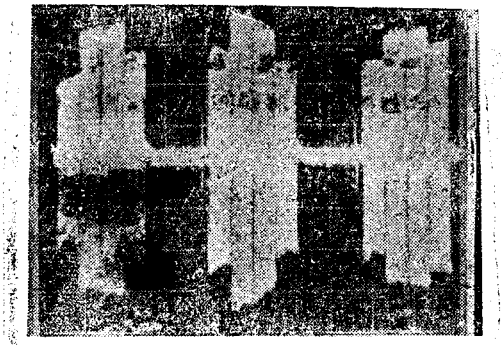
(2) 用TP7作为示波器的外同步，正极性触发，置时间基准为1μs/格，将示波器两个探头连接到TP1和TP2，并将一个通道反向，示波器置于相加、交流位置，垂直刻度为100mV/格。

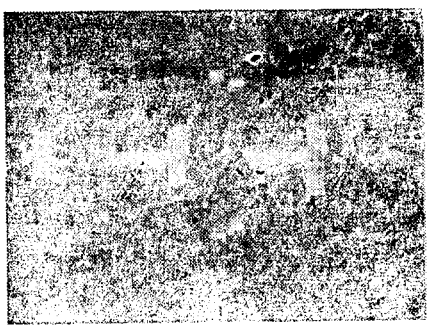
(3) 观察示波器波形应如图7-21所示在18′范围内。如果超过此项指标，则松开磁头安装螺钉，调整到合格。再拧紧螺钉。

9. 索引检测器位置的检查和调整

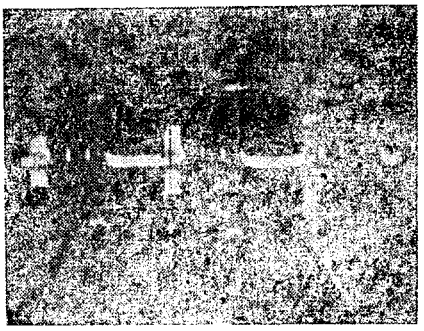
(1) 启动电机，插入校准盘片，将磁头小车步进到01道。

(2) 用TP7(索引)作为外同步，正触发。置时间基准为50μs/格。将两个探头接到TP1和TP2，探头在印制板上接地。垂直刻度为500mV/格，示波器置于交流、相加和一个通道反相。

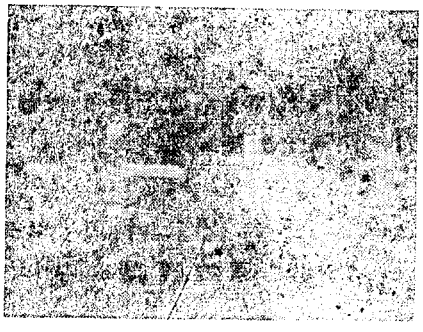




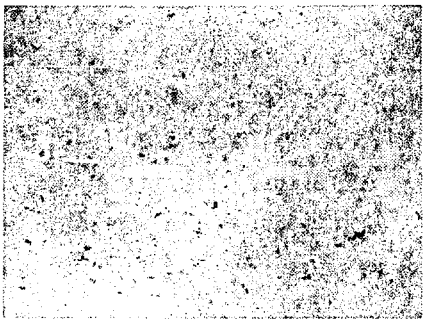
15′左偏



12′左偏



15′右偏



12′右偏

图 7-21 方位角在18′范围内的各种偏差图形

(3) 观察扫描起点到第一个数据脉冲之间的时间应为200±100us，如图7-22所示。如果超过指标要求，则松开螺钉，调整光电检测器位置直到符合指标为止，再拧紧螺钉。

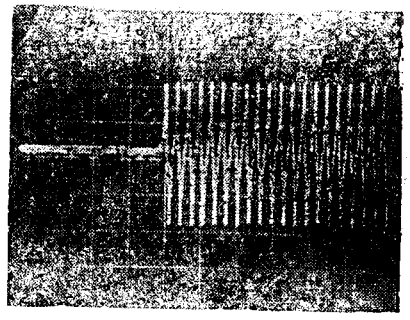


图 7-22 索引脉冲时间

第四节 软盘机故障分析与排除方法

如前所述，当软盘机出现异常时，可以通过一定的检测方法来判断究竟是盘片还是软盘机的问题(当然也可以通过诊断程序或可靠性检查程序来检查)。如果所发现的问题不是调整所能解决，就必须仔细查明故障原因，用更换元器件的方法来排除。因此，在这里着重介绍软盘机的故障分析思路和简单排除方法。

一、读出电路故障

如果软盘机读出连续出错。应考虑读出电路故障。其可能原因有：

1. 放大器故障

软盘机工作时，由于磁头在软盘机上读出信息。经过运算放大器放大、移相、鉴零和整形后变成计算机可识别的数字信号到主机中去。如果放大器不能将微弱的信号放大成有效的信息(数据)时，主机与外存交换信息时，就会出错。目前，一般的软盘机读出电路采用μA733或MB3492中的一部分。前者单纯用做放大，由其他电路完成数据转换；后者由输入毫伏级信号转变到主机可识别的电路信号，用一片集成电路完成。因此，可以参考读电路各级波形图，并用示波器检查放大器各级输出端。在读状态下，读放大器内磁道1F信号不应低于230mV，其它各级应根据波形要求而定，否则，应予更换。

2. 磁头的故障

当软盘机在读出状态下，用示波器检查磁头线圈输出信号时，如果幅度<1mV。应检查磁头。造成磁头故障可能有以下原因：

(1) 磁头线圈断路 软盘机的磁头有两组线圈，一组叫读/写线圈，另一组叫抹除线

圈，前者的直流阻抗为15Ω左右；后者的直流阻抗为3Ω左右。一般用万用表检查，或者在写入状态下，用示波器检查读/写线圈有否写数据信号。正常情况，读/写线圈内的峰峰值为8V左右。

(2) 磁头严重磨损　由于磁头和软盘片在工作时是接触的，因此，经过较长时间摩擦，磁头会有一定程度的磨损。磁头磨损后会引起一系列的问题：灵敏度下降，正常的磁头读出幅度2F(1125KHz)信号应不低于1mV；分辨率下降，正常时磁头分辨率2F/1F×100%，不应低于35%，否则应更换。

(3) 磁头表面有污垢　由于使用环境不良和软盘片有灰尘污染，软盘机使用一段时间后，磁头表面堆积污垢，使磁头和软盘片的磁介质接触不良，造成软盘机的读出错。一般，软盘机使用3～5个月应清洗一下磁头。工作环境差的场所，磁头清洗周期应该短些。

(4) 磁头定位偏差　软盘机是一种精密的机电结合产品，磁头定位精度要求较高，特别是磁盘数据区域在0.3mm内稍有偏差，就不能读出放在指定区域内的信号，为此，必须进行磁道校正，磁头方位角校正。

如果读/写磁头是好的，前置放大器也是好的，则应用示波器对读电路逐级检查。

二、写电路故障

软盘机在写入信号时，由主机发出写数据，经过接口和软盘机的写电路传输到磁头，被磁感应到盘片上。这一通道上有任何一个环节出现故障，均可使主机发出的写数据信息，无法记录在盘片的磁介质上去。写电路有无故障可以在写入状态下，用示波器来检查磁头读/写线圈上有无数据信号来判断。如果写电路有故障，可参考写电路各级波形和写控制逻辑图，用示波器逐级检查便可发现。

1．写命令故障

当主机发出写命令后，软盘机开始对软盘片写入数据信号，如果写命令失控，软盘机将会出现如下问题：

(1) 软盘机不能接受主机发出的命令进入写状态，写数据传输不到磁头线图上，无法对盘片上的磁介质磁化。

(2) 磁盘机一直工作在写数据状态下，当盘片插入软盘机后，即使在读状态下仍写，则会把盘片上原有的信息破坏掉。为此，必须对电路逐级检查。

2．抹电路出故障

当软盘机抹电流控制逻辑失控，可能出现有抹命令而磁头线圈无抹电流，或者抹电流延时不对，致使写与抹配合不好，无法对软盘片进行正确写入。

3．写保护故障

如果软盘机的写保护功能失控，将会出现：

(1) 软盘机始终工作在写保护状态下，这时软盘机只能读，不能写。

(2) 软盘机工作在无写保护状态下，即使盘片写保护缺口封住，一旦有误操作，也会使盘片上的信息冲掉。为此，亦必须逐级进行检查。

三、磁头定位电路故障

软盘机的定位电路有两种：一种是34芯标准接口的定位电路。它由一个环形分配器组成，把软盘控制器送来的方向信号和步进信号变成走步信号，分别送到步进电机的A、B、C、D四相上。YD-580型软盘机，它的环形分配器集成在MB14301中。TM-100型软盘机，它的环形分配器由小规模集成电路组成。

第二种为非标准接口(20芯线)的磁头定位电路(如APPLE Ⅱ用驱动器)。它省略了环形分配器，直接接收软盘机接口电路送来的定位信号。分别送到步进电机各绕组上。

如果定位电路中的某一个环节发生故障，则磁头小车就不能执行主机发出的定位命令。一旦发生这种情况。必须用示波器逐级检查，查出故障的具体部位，予以排除。

四、互换性不好

使用中常有这种情况，造成这种情况的原因，主要有三个方面：

(1) 磁道偏差　软盘机只能使用在自己机器上复制的盘片，而不能使用在其他软盘机上复制的盘片。

(2) 方位角的偏差　所谓方位角就是读/写磁头的前隙与磁道中心线的法线不平行，而有一个夹角。这个夹角有一个允许范围，超过18′时，就不能使用其他软盘机上复制的盘片，只能实现自己读或写。

(3) 盘片压紧轮定位有偏差。当软盘机使用较长时间以后，主轴和压紧轮均会有磨损。如果磨损多了，就会造成主轴的跳动和盘片压紧轮的松动。因此，盘片压紧转动时，就会有误差。这一误差超出允许范围后，就必然影响软盘机之间的互换性。

如果互换性不好是由于软盘机的磁道偏差，或方位角的偏差引起的，这时可用CE校准盘片来进行校正。如果互换性不好是由于主轴或盘片压紧轮的松动引起定位有偏差，则需要更换主轴或盘片压紧轮才能解决问题。

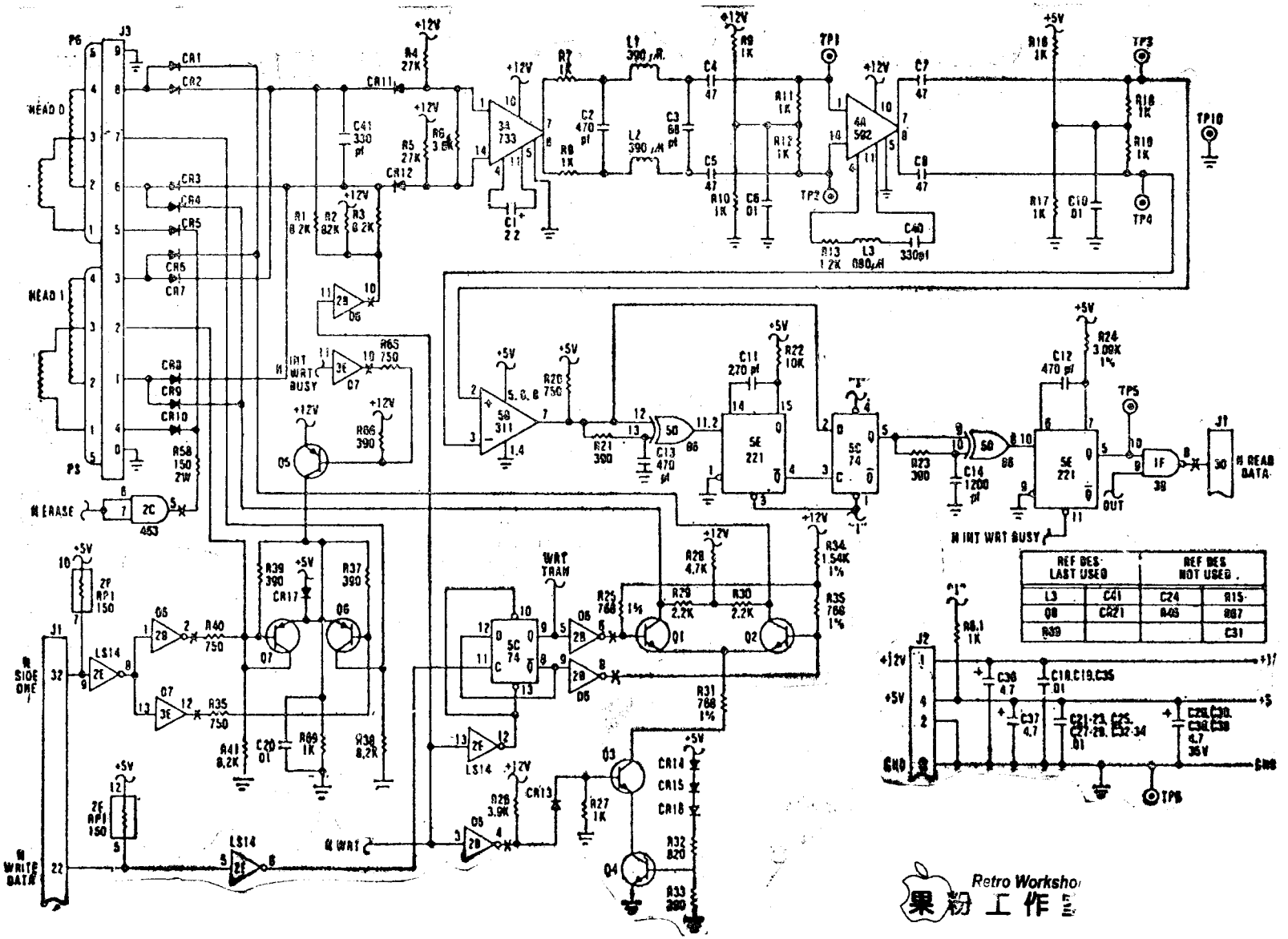
五、软盘控制器故障

当使用的软盘机出现问题时，可用好的软盘机代换再试。如果再不好，这时应考虑软盘控制器是否有故障，可调换控制器板再试。判断其究竟是软盘机的故障还是软盘控制器的故障。如果实属软盘控制器的问题，应转向对控制器的检查。

总之，软盘机是一个精密的机电结合的产品。在微型计算机系统中，它是一个使用频率很高的外部设备，因此在使用过程中难免发生各种各样的故障。以上仅仅是介绍了一些故障分析思路，仅供读者参考。

第五节　故障检测流程举例

在实际维修工作中，要查明故障原因，除了有一定的经验外，在查找时必须有一定流程。这对于缺乏维修经验的同志来说，可顺藤摸瓜便于找出故障。在这里给出TM-100型软盘机电原理图及故障检测流程为例。供大家参考。



Retro Worksho
果粉工作室

Retro Workshop
果粉工作室

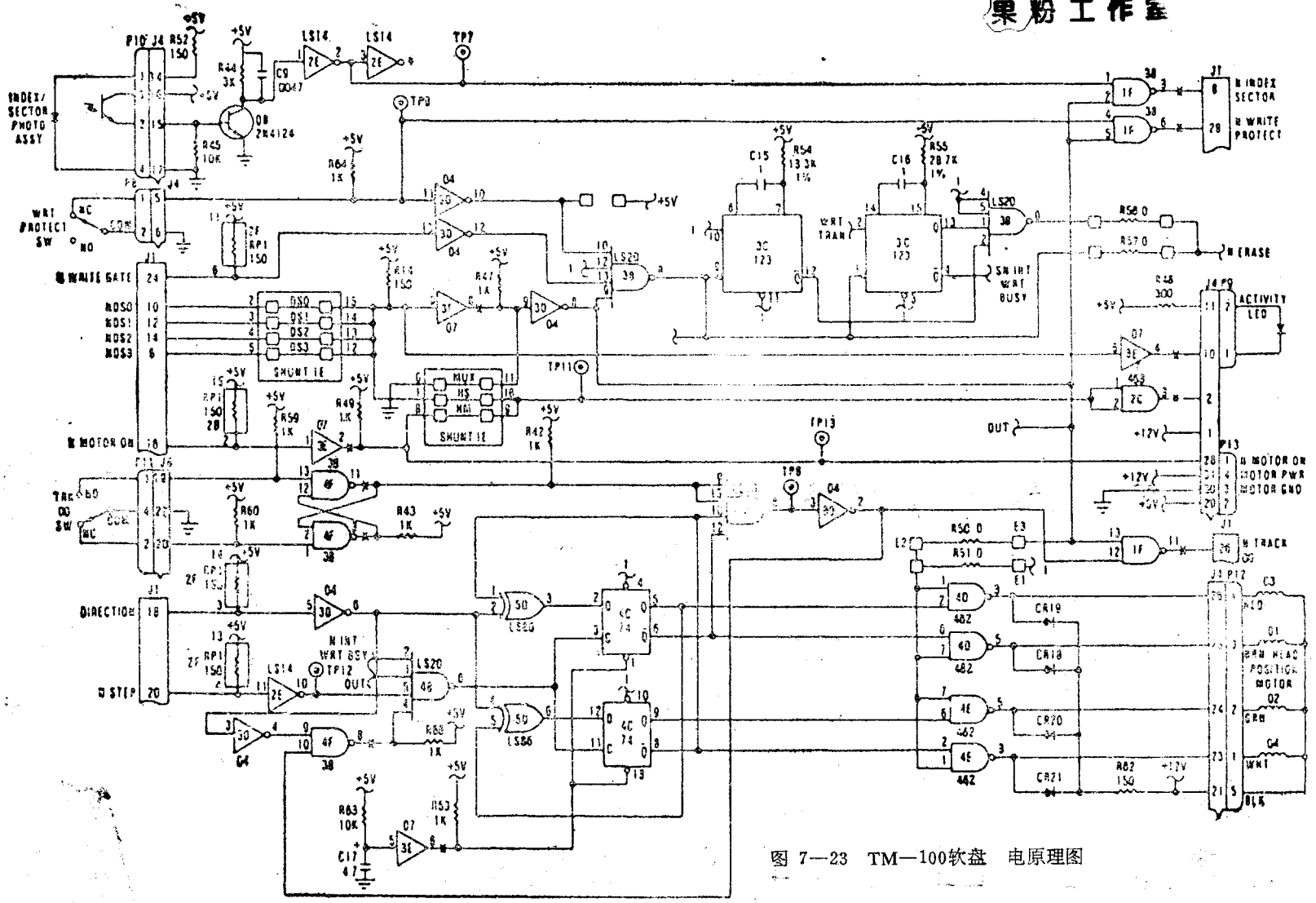
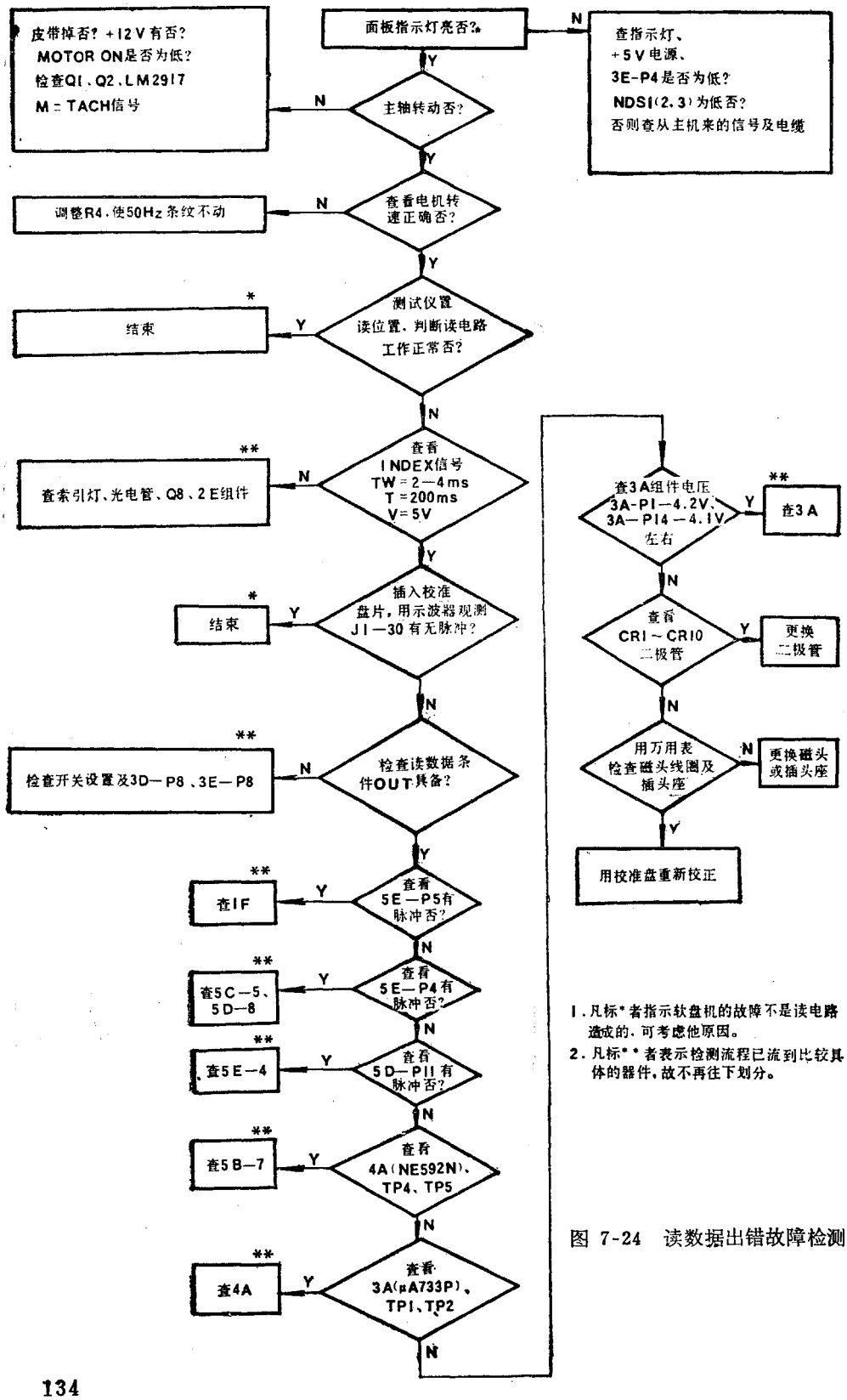


图 7—23　TM—100软盘　电原理图



1. 凡标*者指示软盘机的故障不是读电路造成的,可考虑他原因。
2. 凡标**者表示检测流程已流到比较具体的器件,故不再往下划分。

图 7-24　读数据出错故障检测流程图

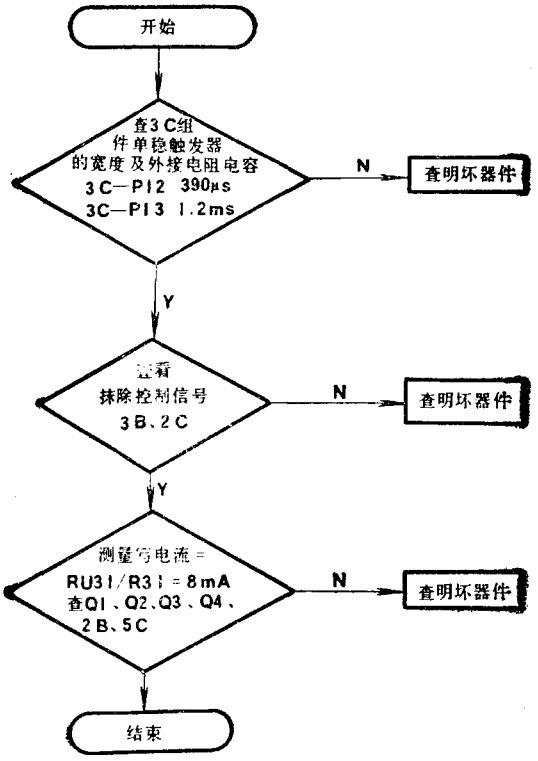


图 7-25　写数据出错故障检测流程图

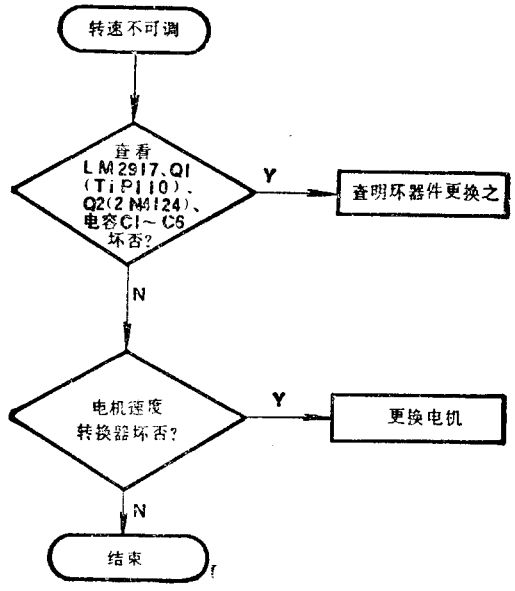


图 7-26　选头不可靠故障检测流程图

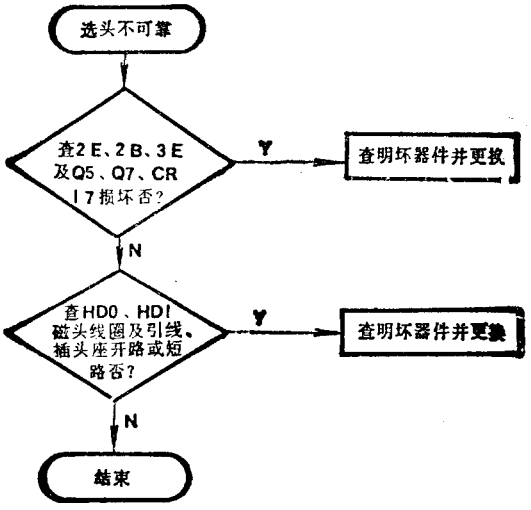


图 7-27　转速不可调故障检测流程图

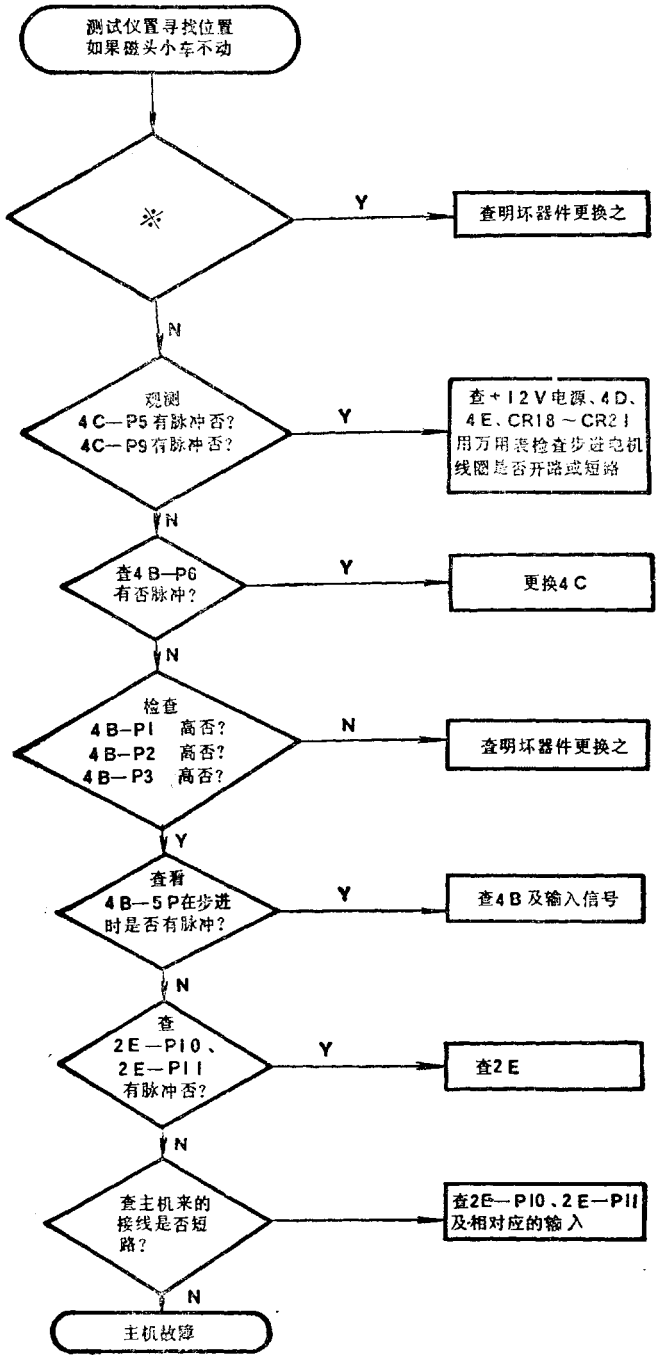


图 7-28 步进电动机不动故障检测流程图

注：*如果磁头停在00道，则先关机，把磁头推向里道后再开机。如果磁头回到00道，则说明电机及控制电路无问题，可能是00道开关信号有问题查4F、4B、3D组件。

第六节　常见故障实例

本节表列出三十五种常见故障，供读者参考。

表7-2　软盘机常见故障一览表

故障现象	原因分析	排除方法
1、面板指示灯不亮但整机运行正常。	(1) 面板运行指示灯〈发光二极管〉坏。	卸下面板指示灯部件螺钉，更换发光二极管。
	(2) 面板指示灯点燃电路阻件(与非门74LS05，功率门74LS07)损坏。	寻找损伤组件，并取下，然后换上新组件。
2. 面板指示灯不亮但主轴马达转速正常。	直流电源+5V掉电。	检查+5V电源并排除故障。
3. 面板指示灯不亮，并且主轴电机也不转动。	软盘机直流电源掉电。	检查排除DC+12V、+5V电源的故障
4. 主轴直流电机转速过快〈周期T<197ms〉或过慢。〈周期T>203〉ms>	(1) 直流电源+12V太低。	检查调整DC+12V电源到额定值。〈12V±0.5%〉
	(2) 直流电机参数发生变化，或电机控制电路参数发生变化。	调整电机电路板上转速控制电位器，直到电机转子飞轮上闪光盘条纹清晰且稳定为止。
5. 主机对软盘机已选中，但主轴电机无反应。	(1) 主轴电机+12V电源掉电。	检查并恢复+12V电源。
	(2) 控制器接口信号"motor on"失效〈低电平有效。〉。	检查控制器接口信号"motoron"失效原因并换掉坏组件。
	(3) 软盘机读/写电路板与电机控制电路板之间有一条马达控制信号线，可能失效〈高电平有效〉。	检查电机启动信号，并将读/写电路板上电机控制电路的坏组件〈74LS00〉取下换上新组件。
	(4) 主轴电机控制板坏或电机绕组线圈断线。	卸下主轴电机固定螺钉〈连同电机控制板〉然后换上新主轴电机。

续表

6. 软盘机接口介面沒有索引信号〈index〉。	(1) 索引光敏部件坏。	更换光敏部件。
	(2) 发光二极管坏	更换发光二极管。
	(2) 索引信号电路组件（与非门、单稳触发器和控制电路MB14301)损坏。	用信号源及示波器查出损伤组件并更换。
7. 计算机启动之后，软盘机小车部件在盘片最外边往返运动，但读不出资料。	这种现象多数是“00”道(Track “00”)部件故障(1)“00”道开关发生位移(例如，YD-274，FD-55A软盘机“00”道传感器部件发生位移(例如)YD-580型软盘机 (2)“00”道红外发光二极管损坏 (3)“00”道光敏三极管损坏 (4)“00”道电路组件(门电路，控制电路MB14301)损坏。	松开固定“00”道开关螺钉或“00”道传感器螺钉，使该部件恢复正常位置(安装方法参见YD-580软盘机维修手册第4.13节。 加电检查确实损坏，换掉。 加电检查更换损坏组件 加电检查，将损坏件换掉。
8.有步进脉冲但步进电机不走步。	(1) 步进电机线圈断线。	用万用表测量绕组直流电阻确信断线，将坏电机拆除并安装新电机。
	(2) 步进电机控制电路组件(与非门、功率门、单稳，控制电路MB14301)损坏。	对软盘机加电，仔细测量电位，将坏组件拔除，换掉。
	(3) 写选通(writegate)电路故障，造成步进期间有选通信号。	用信号源、示波器测试观察找出并更换损坏组件。
9. 步进电机只能前进不能后退；或者相反，只能退不能进。	方向信号(Direction)控制电路组件)门电路、单稳触发器、控制电路(MB14301)损坏。	反复置方向信号为高或低电平，分别测量有关组件的电位，将损坏件换掉。
10. 设备选中信号(DS_0～DS_3)失效。	(1) 相应设备选中短接点开路	将软盘机相应短接片重新插上
	(2) 设备器选中电路组件（门电路、控制电路(MB14301)损坏。	仔细测量找出损坏组件并换掉。
11. 软盘片写保护凹槽已经贴封，但文件又常被破坏。	写保护信号(writeprotect)在处于写保护期间出现低电平 (1) 写保护部件中的光敏三极管坏	经测量判断将坏光敏管换掉。
	(2) 写保护电路组件(门电路)坏。	细心测量判断将坏组件换掉。
12. 双面软盘只有一面能读写而另一方面读写失败	(1)磁头选择信号(Headoneselect)失灵，只能输出高电平，(通常该状态选择0面磁头)或只能输出低	检查测量接口电路输入的信号是否对，并恢复到正常信号。

	电平(通常该状态选择“1”面磁头) (2) 磁头选择信号电路组件(主要为门电路)损坏。	测量检查，并将坏组件换掉。
13. 软磁盘机运行尚正常只是常出错，有时错误严重。	读写磁头有污垢读写间隙被遮盖	用清洗盘片浸湿专用清洗剂或异丙醇进行清洗。清洗时输入程序，使步进电机往返寻找“00”道和39磁道。
14. 读写磁头只能读，但不能写入新文件或拷贝。	(1) 写选通(writegate)电路故障 (2) 写电路组件(门电路、控制电路MB14301)损坏。 (3) 读写磁头线圈中间抽头引线开路。	排除方法参见第8.3节 用精密仪器仔细测量，判断坏组件，并更换。 (1) 若属插座和磁头外引线开路，可重新焊好。 (2) 若属磁头内部断线只能将该磁头换掉。
15. 读写磁头只能存入或拷贝，但不能读取盘片已存入的文件。	1. 写选通(write gate)信号电路故障，只能输出(写状态)(即WG信号为低电平)不能输出“读状态”(即WG信号为高电平) (2) 读数据(ReadDate)信号，集成电路(门电路、读电路MB4392)损坏或性能参数变化。 (3) 读出放大器阻容元件参数发生变化。例如：YD-5800软盘机的C_{11}至C_{14}，R_{11}至R_{14} L_1容量、阻值、电感量发生变化。	测量并检查写选通电路工作状态，更换坏组件。 用示波器在TP1A(1B)、TP2A(2B)及数据输出线上观察判断坏组件并更换。 测量、判断将变化误差超过规定范围的阻容电感器件换掉。
16. 软盘机既不能存入或拷贝也不能读取盘片已有文件。	(1) 读写信号(ReadData和Write Data)电路的组件同时损坏。 (2) 读写磁头的两个绕组之一或全部断线。	更换一块读写功能良好的电路板，判断确属电路板故障，然后用信号源、示波器逐个检查各个组件，判断并更换坏组件。 (1) 同上述方法，更换一块读写性能良好的电子板，仍不能正常进行读写动作，则是磁头本身故障。 (2) 用万用表测量读写头线圈绕组直流电阻。若属插座

		或外部引线开路可焊接。 若属磁头内部引线开路则只好将该磁头换掉。
17. 一台软盘机只能自写自读，不能读取其他软盘机盘片资料。写好或拷贝的资料送其他软盘机也不能读出。	磁头小车部件产生位移。	向软盘机内插入一张CE盘片，磁头小车部件步进到16磁道和由17磁道步退到16磁道，用示波器在TP1A和TP1B观察“猫眼”信号相差大小，并校准，使之一样大，具体操作技术参考“YD-580型驱动器维修手册”。
18. 一张盘片插入软盘机内拉不出来。	盘片边缘松动撬起。若发生这种情况不能强拉，否则有可能将磁头弹簧片拉断造成永久性损坏。	发生该情况应立即停机，打开前面板门锁，卸下读写电路板用手轻轻撬开磁头取下坏盘片，并修复盘片撬起的边缘。
19. 头加载信号(HeadLoad)有效但头加载电磁铁(HeadLoad Solenoid)不吸合。	(1) 头加载电路组件(门电路)坏。 (2) 头加载电磁铁线圈断路。	测量各个有关门电路将坏组件换掉用万用表电阻挡测量确实断线将其修复或换掉。
20. 软盘机运行过程中时好时坏。	造成这种现象的原因多半属插件接触不良所致，包括34线印制板插头，四线电源插头座，各功能部件插头座。	用蘸酒精的棉球擦洗J_2(电源插头座)，J_3(各功能部件插头座)J_4(磁头插头座)用橡皮干擦J_1(34线印制板插头)发现这些插头座松动应焊牢或者更换
21. 主机启动之后软盘机产生“低频振荡”。	通常微型计算机系加统电后，Cpu首先命令软盘机寻找“00”道，取出文件目录，当“00”道电路有故障时，迫使磁头小车反复执行上述命令便产生“低频振荡”	(1) 检查“00”道信号电路各有关组件，查出损坏者换掉。 (2) “00”道传感器发生位移要用CE盘片进行校准。具体操作技术参考“YD-580驱动器维修手册”
22. 步进电机钢带断裂。	因强烈振动撞击所致。	(1) 用十字花螺丝刀松开钢带固定螺钉。从绞盘上取下旧钢带换上新钢带。 (2) 步进电机钢带更换之后要用CE盘校准使磁头部件到标准位置上。 参见“YD-580驱动器维修手册”

23. 读写电路板性能良好，读写磁头线圈引线无开路，用清洗盘片反复清洗仍然出现不规则读写错误。	(1) 读写磁头被油泥糊住，用清洗盘片清洗已无能为力。	卸下电路板，用放大镜和牙科反光镜分别观察。“1”面磁头是否有油泥?若是有，用棉球蘸取异丙醇轻轻擦洗，直到油泥全部清除为止。 注：擦洗“1”面磁头要避免加载弹簧失去弹性。“1”面磁头向上撇开的角度应小于20。
	(2) 读写磁头电参数变化，读出效率下降，例如，读出幅度，分辨率等参数下降。	(1) 配用质量良好的源盘片和新盘片。 (2) 用优良盘片仍无效，只好更换磁头。
24. 原磁头引线开路更换了新的磁头、小车部件后仍不能正常读取数据。	新装磁头的安装位置与原磁头的位置不相同，即发生磁道偏离。	装好新磁头、小车部件后，需用CE盘片重新校正。把新头和小车部件调整到标准位置。具体校准技术，参考“YD-580驱动器维修手册。
25 原步进电机引线断路，重新安装一台性能良好的步进电机后仍不能读取数据。	是由于安装步进电机偏离原电机的安装位置引起。因为软盘机磁头、小车部件系安装在步进电机上，且由步进电机牵引所以步进电机的偏离就是磁头对磁道的偏离。	新步进电机安装完毕，需用CE盘重新校正磁头位置，校准的具体技术同上。
26. 软盘机之间不能互换盘片，即软盘机互换性差。	(1) 盘片压紧轮定位偏差。软盘机使用一段时间后，主轴和在紧轮有均磨损，造成主轴跳动和压紧轮松动。盘片压紧后会有误差，误差超过一定范围就影响互换性。	花轮盘磨损严重则需更换。
	(2) 磁道偏离，软盘机只能用自身考贝的盘片，不能使用其他机器上复制的盘片。	使用CE盘校正，将磁头、小车部件步进到16磁道，用示波器在TP1A和TP1B观察读出波形。
	(3) 方位角的偏差超过18'，软盘机就没有互换性。	使用CE盘进行校正，将磁头、小车部件步进到34道，用示波器观察测输出信号，具体操作见本章第三节。
27.软盘片故障。	由于软盘机在读写时，磁头直接在盘片上滑行，软盘片使用一段时间后，涂覆在上面的磁性材料就会逐渐脱落，这样盘片就有丢失数据的现象。	这时，应调换质量好的软盘片，不要先怀疑软盘机故障。

28. 软盘机控制器(即软盘适配器板)的故障。	在计算运行过程中软盘系统出故障，可能是软盘机的故障，也可能是软盘适配器板的故障。	先取一只性能良好的软盘机试一试。证明软盘控制器板好坏，是坏的则首先排除软盘控制器板的故障。
29. 软盘机运行尚正常，只是在潮湿季节和干旱季节期间出错。	(1) 由于软盘机磁头和盘片直接接触，在潮湿季节盘片磨损激增，易出错。 (2) 低湿度头、盘片产生静电干扰也易出错。	虽然季节不同，地区不同，但机房(或办公室)的湿度在40%<HR<60%范围内为宜。
30. 单面软盘机在运行中突然对盘片磨损激烈增加。	单面软盘机在磁头的对面有一块压盘毛毡，当其磨损成马蹄形时不能继续使用，当毛毡脱落就会把盘片严重划伤。	发现压盘毛毡磨损成马蹄形应及时更换，当毛毡脱落应及时用胶粘牢。注意：防止胶溅到毛毡外面或上面。
31. 软盘机抗干扰能力突然降低。	电源回线开路或信号线回线开路。为使软盘系统稳定可靠的工作，对软盘机的各种接口线均严格考虑和规定：各种电源和信号线均有自己的回线，不得任意增减。特别是电源线，为了抗干扰往往在软磁盘机电子板上不共地。	检查并将脱落的电源线或信号线焊牢。
32. 有些步进电机用丝杆传动机构牵引磁头和小车部件运动的软盘机，长期使用后发现丝杆对步进电机的阻力增加。	原因是软盘机长期使用，丝杆上面集积污垢，丝杆与磁头、小车部件间的摩擦力增加。	用棉球蘸取酒精擦洗丝杆，然后涂上一点高纯度钟表油。注意：不能涂黄油，黄油粘度大，增加步进电机负荷，并且使步进电机定位精度受到破坏。
33. 磁头发生啸叫声。	由于分布参数的影响，磁头偶尔会发出“嘶嘶”的鸣叫声。这是由于寄生振荡造成的。	当发生啸叫声时，将磁头引线移动一个位置后，啸叫声即告停止。
34. 一台性能良好的软盘机，装机后产生读写错误。	怀疑是安装姿式不正确。	软盘机安装姿式的规定： (1) 电路板向上； (2) 左侧板向上； (3) 右侧板向上；
35. 软盘机质量良好，软盘控制器质量可靠，各插座接触良好，但软盘系统不能工作。	(1) 功能部件中有一条连线断线(包括步进电机引线，磁头引线，主轴电机引线，索引传感器引线，写保护传感器引线“00”道传感器引线)。 (2) 三十四线扁平电缆折断或扁平电缆与三四芯插头错位。	测量各功能部件的直流电平，找出断线并焊接。 查明断线所在处，剪掉断线部分重新压上三十四线插头。

第七节　典型故障案例分析

本节准备通过典型故障案例分析，使读者进一步提高故障分析和排除的能力。

一、判断故障的步骤

软盘机是精密的机电设备。在维修过程中，维修人员应自始至终仔细地操作。逐步缩小故障的怀疑部位，直至找到故障的原因。判断故障的典型步骤如下：

(1)向用户询问故障的现象以便对症下药迅速查找到故障的原因並修复之。

(2)外观检查接到待修的软盘机后，应观察印制电路板上是否有元件烧黑的现象？磁头有否脱落？关门机构及卡盘机构是否正常？用手推动磁头小车是否移动灵活？有否卡住的现象？如果有上述现象，则首先应排除故障，然后才能通电。

(3)检查＋5V和＋12V对地是否短路　如果有短路，首先应排除。在确认无短路后，将软盘机与测试仪和电源连接，然后通电。

(4)启动电机　检查电机速度是否正常。速度是否能调整到指标要求。如果电机转速不正常(不转或飞速)，采用换板法(即用正常的电机驱动板代替待修的驱动板)可以较迅速地判定是电机故障还是驱动板的故障。如果是电机故障，则应修复或更换电机。如果是驱动板的故障，则应逐级检查工作点，找出故障的原因，然后修复。

(5)主轴电机转速正常后，应检查磁头小车找道是否正常。置测试仪在00～39道两地址找道，观察磁头小车应在“00”路到39道之间找道。磁头小车到达“00”道时，测试仪面板上的“00”道信号灯应亮。如果小车有卡住现象或走道不均匀，则应用换板法判别是控制电路还是步进电机的毛病，或是机械上的卡死。一般来说步进电机的故障可能性极小。逐步找到原因，然后进行修复。如果是“00”道信号灯不亮，则应检查是“00”道检测器损坏，还是“00”道检测器的位置不对。针对情况进行修复。

(6)写状态的检查　置测试仪于写状态。测试磁头电缆线(TM-100型的J3/1.3.6.8接点)的写入波形应为如图7-18所示的波形。如果无写入波形。则可能是磁头线圈断线或选头电路(TM-100型的CR_1和CR_2)有问题。如果波形有畸变，则可能是磁头组件有故障，例如磁芯裂，磁芯脱落等。

(7)读状态检查　置测试仪于读的状态，测量TP6的读数据信号。改变写入数据的频率(1F和2F)和面选信号，都应有相应的读数据信号。如果无读数据信号，则应逐级检查波形和工作点。找出原因並进行修复。

(8)经过上述检查如果故障原因仍未查出，则应根据第三节检查和调整的步骤，对每一项指标进行测试。经以上步骤的检查基本上能找到故障的原因。如果磁盘机经以上步骤后仍未发现问题，但磁盘机在主机系统中仍不能正常工作，则应具体情况具体分析，仔细地查找。以下提供一些线索，供参考。

①软盘片的质量差，或使用时间长。

②磁头不清洁。应进行清洗。

③直流电机电刷火花干扰。

④“设备选”设置错误。

⑤主机系统中两台磁盘机都接上了阻抗匹配电阻。

⑥插头接触不好，电缆线太长或断裂。

⑦主机系统电源不稳或有高频信号干扰。

⑧修复並进行调整后的软盘机，应在主机系统中联机，证明能正常运行磁盘操作系统引导，能进行格式化和拷贝程序之后，才能交给用户使用。

二、故障案列分析

1．案例一：

型号：TM-100

故障现象：软盘机不能引导操作系统。

分析和排除：首先按本节第一部分判断故障的步骤逐步检查。检查到电机转速时。发现主轴篮花盘速度明显快，並且用R_4不能调节转速。一般称这种现象为“飞速”。如果有备用电机控制板，可用换板法，判断出是电路板的故障。然后逐级检查，找到是C_5电容器开路引起的故障。更换C_5后，电机转速可调，工作正常。按第三节的检查和调整步骤，检查软盘机的各项指标均合格，並且在主机中运用正常。可交用户使用。

选成电机“飞速”故障的常见的原因还有集成电路2917损坏，Q_1短路。

造成电机不转的故障原因，可能是Q_1断路、L_1断或电机启动信号为高。

2．案例二：

型号：TM-100

故障现象：该软盘机工作时好时坏，有时不能引导程序，有时不能进行格式化。

分析与排除：这种现象是典型的软出错增多。此类故障一般比较隐蔽，需耐心仔细地查找。

首先按判断故障的步骤，一步一步地检查，如未发现疑点。软出错增多可能原因有以下几种：

(1)软盘片质量差或长期受到空气污染。

(2)持续几微秒的随机噪音。

(3)电源不稳定。软盘机和主机系统接地不正确。

(4)电机转速不正确。

按上述步骤，並采用换板法，最后确定是主轴电机电刷火花干扰影响了读写的正确性，造成了软出错增多。拆下电机上的电刷，发现磨损严重。将电刷在细砂石上研磨平整并清洗后，再装在电机上。该软盘机一切工作恢复正常。

(3)案例三：

型号：TM-100

故障现象：软盘机能自读自写，但不能与其它软盘机互换。

分析与排除：该故障是典型的互换性不好，应着重检查影响互换性的以下几个因素：

(1)磁头径向校准位置偏差。

(2)读出幅度低。

(3)电机转速不准。

其中以第(1)种情况可能性最大。首先检查该软盘机的“猫眼”信号，发现已小于70%，必须重新调整。拧松磁头小车固定螺钉，用调节螺钉调整到两个波瓣接近相等，再拧紧螺丝钉。调整完“猫眼”信号后，必须检查“00”道检测器的位置。再用第四节的步骤检查软盘机的各项指标合格后，与主机联机正常后方可交用户使用。

4、案例四：

型号：JA551 （SA455）

故障现象：软盘机能读不能写。

分析与排除：根据故障现象，应着重检查写的状态。将软盘机与测试仪和电源联接。启动电机，插入数据盘片，将测试仪置于写的状态。用示波器测试磁头插座上的写入波形。当面选上头时发现波形与图7-18正常波形相比过冲过大。经仔细检查上磁头，发现磁芯已裂。更换上磁头，並校正好磁头径向和切向位置，检查“00”道开关位置。软盘机一切恢复正常。重测一遍合格並联机正常后交用户使用。

5。案例五：

型号：TM-100

故障现象：软盘机只能前进不能后退。

分析与排除：上述故障部位比较明显，不需要按检查和调整步骤按步就班地查找故障。从TM-100型原理图分析可知，造成软盘机不能后退，只能前进的可能性有两个。一种可能是方向线失控；另一种可能是“00”道开关损坏(例如“00”道开关信号端与地短路时，当软盘机到达A向时，封锁了后退方向线的输入)。从方向线输入开始逐级检查逻辑状态，很快就查到了是3D反相器7404损坏。更换此集成电路后，磁盘机找道功能恢复正常。检查调整合格並联机正常后，可交用户使用。

第三篇 硬 盘 机

第八章 硬盘机的机械结构

5.25英寸温彻斯特磁盘机作为硬盘机已成为微、小型计算机系统中必不可少的外存储设备，应用范围日益广泛。因此如何正确使用好硬盘机，出故障后又如何能较快地诊断与排除，已成为当前微型计算机系统维修中十分突出的问题。本章在叙述硬盘机的机械结构之前，有必要先介绍硬盘机的基本组成，简单工作原理以及分类，以便使读者对这种存储装置有概貌性的了解。

第一节 硬盘机组成及其工作原理

硬盘机主要由四大部分组成，即磁头-盘片组件（Head Disk Assembly—HDA）、印制电路板（Printed Circuit Board Assembly—PCBA）、面板、减震安装支架及其他附件。下面将简单给予介绍：

一、硬盘机的组成

1、头盘组件(HDA)

硬盘机的最大特点就是将磁头、盘片密封在一个腔体中，以避免外界灰尘及其他杂物影响磁头和磁盘的正常工作。头盘组件包含以下几个部分：

(1) 磁头组件 磁头组件由磁头、梳形结构的磁头安装臂、连结磁头线圈的挠性扁电缆等三部分组成。关于磁头及磁头安装臂的详细结构将在后面的有关章节里介绍。

(2) 磁头驱动机构 磁头驱动机构对不同类型的产品而言，差别较大。有步进电机驱动、音圈电机驱动及力矩电机驱动三种方式。容量较小的低档硬盘机采用步进电机驱动，而高档磁盘机采用音圈电机驱动。

(3) 盘片及其驱动机构 硬盘机中的盘片驱动机构都采用直流无刷电机，盘片就安装在直流电机的驱轴上，免去了传动系统带来的误差。

(4) 读写前置电路 为了提高硬盘机的读/写可靠性，选头电路及读出信号前置放大器要尽量靠近磁头，因此在有些产品的HDA中，往往有专门安装硬盘机读/写专用大规模电路的小型印制电路组件，或直接将器件安装在连结磁头的挠性电缆上。

(5) 循环过滤器 虽然磁头与盘片密封在HDA组件之中，运行时间长了总免不了在HDA内部产生一些尘粒，为此，在HDA内部设有微型过滤器，保证硬盘机能长期可靠地工作。

(6) 底座和上盖 HDA的底座是铝镁合金压铸件，有足够的刚度，保证磁头在快

速找道时不会引起变形，而影响磁头定位精度。上盖采用薄壳结构，盘片数较多的硬盘机，在上盖上，有散热用的肋条。

(7) 其他附件 在有些硬盘机的HDA组件的外部还装有主轴电机刹车 电磁铁和电磁式的索引传感器等。

2. 印制电路板组件(PCBA)

5.25英寸硬盘机印制电路板的组件有三种方式。

(1)磁头依靠步进电机驱动的低档硬盘机，一般只用一块电路板，所有的电子线路均安装在上面。

(2) 早期的全高低档硬盘机也有将主轴电机控制电路独立出来，放在一块附加电路板上的(如Seagate公司的ST412，IMI公司的5012等)。

(3) 用伺服面定位的大容量高档硬盘机，因伺服定位信号处理部分的电子线路较复杂，往往包括三块电子线路板，即主控电路板，磁头读出信号前置放大电路板，主轴电机转速控制电路板等。

3. 面板和安装支架

硬盘机的面板组件极其简单，一般只有一只发光二极管指示灯，当硬盘机选中且正常工作时，指示灯发光。在故障情况下，通过有规律的闪烁，指示故障的种类。也有的硬盘机的前面板上有红绿两只指示灯，红灯指示设备选中；绿灯指示正常工作，当闪烁时，指示故障。

小型硬盘机可直接安装在微型计算机的主机箱中，也可与电源、硬盘控制板同装在一个外壳中形成硬盘子系统。由于微型计算机及子系统可随时搬动，因此安装支架还需带有减震装置。

二、硬盘机的工作原理

就其功能而言，硬盘机和其它磁盘机一样，也包括三大部分，即磁头定位系统、主轴稳速系统和数据读/写系统。图8-1是其原理框图。磁头驱动电路接收硬盘控制器送

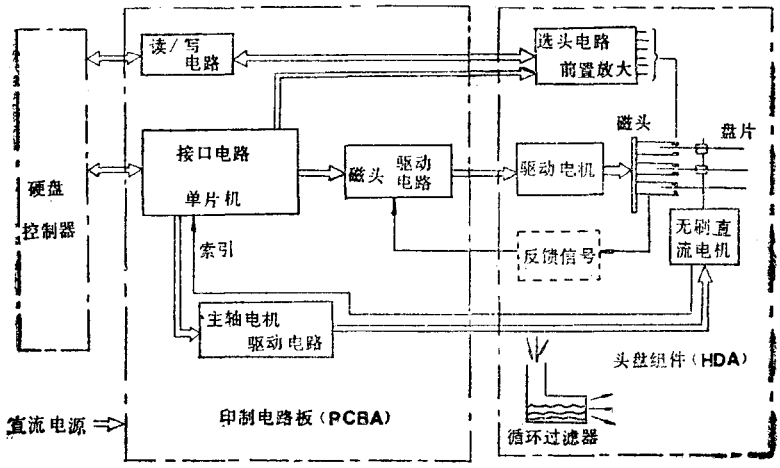


图8-1 5.25英寸硬盘机原理框图

来的串行脉冲和磁头运动方向信号，通过硬盘机内部单片机的处理及功率放大，驱动步进电机或音圈电机，使磁头迅速移动到目的磁道上(硬盘机中所有的磁头都装在同一个磁头臂上，所有的磁头同时作前后移动)。对步进电机定位的开环系统来说，一个脉冲对应于步进电机步进一步，也对应于一条磁道。步进电机的步距的大小只取决于步进电机的特性及磁头定位传动机构的精度。用音圈电机定位的闭环系统，音圈电机移动的位置随时反馈给伺服定位电子线路，不断作闭环修正，保证磁头精确地定位于目的磁道中心。

小型硬盘机的盘片速度依靠无刷直流电机内部的霍尔元件及外部电子线路组成闭环系统，使盘片的转速始终保持为3600转/分。关于稳速系统的详细组成与工作原理将在以后有关章节介绍。

读/写部分的工作情况是这样的，当要写入数据时，由硬盘控制器来的数据，以MFM制编码方式送入磁盘机的写电路。根据选头电路确定的磁头，与写入数据相对应的写电流将流过被选磁头的线圈，把数据记录在盘面上特定的区域。当要读出盘面上的信息时，读电路工作，被选磁头的线圈中感应出的信号，经放大滤波，数字化处理后，以MFM制式的数据脉冲经硬盘控制器送到主机。

三个基本分系统虽然功能各异，但通过硬盘机内部的单片机和其他电路的统一控制，使三个分系统能有机地协调工作，完成硬盘机的基本功能。

硬盘机是十分精密的机电装置，机械结构比较复杂。图8-2和图8-3分别是Quantum公司的Q540型和CDC公司的WREN—9415型5.25英寸全高硬盘机的结构示意图。图8-4是一种典型的5.25英寸半高硬盘机(ST225)的结构简图。从这些图中可以看出，硬盘机的绝大部分机械组件都密封在一个金属腔体中，这些机电部件在制造时都已做过精确的调整，用户平常使用中不需要，也不能再作任何调整和维护。密封体(即HDA组件)中，基本组件包括磁头组件、磁头及磁头取数臂组件、盘片及其驱动机构、空气过滤装置、铝合金基座及上盖等。下面将要分别详细介绍各组件的结构特点。

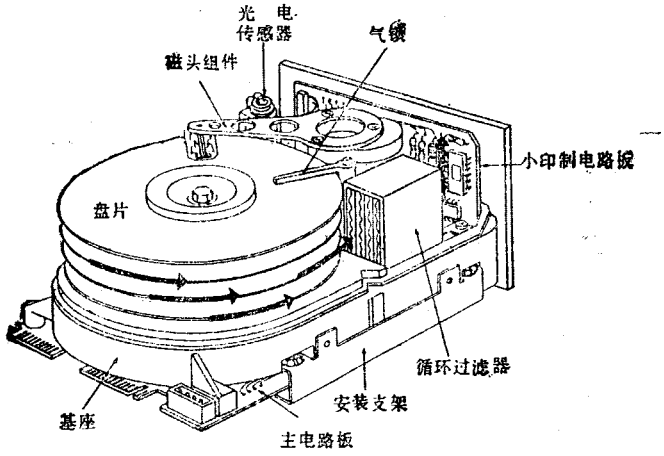


图8-2 Q540型硬盘机结构简图

三、硬盘机的分类

当前，硬盘机生产厂家和品种，数以百计。但为了便于组织工业化大生产和与各种微型计算机系统的配接，其内部结构及外部接口都已规范化了，各种同类产品只是大同小异而已。因此可根据微型计算机用的硬盘机的结构特点进行以下的分类。

1. 按磁头定位控制方式分

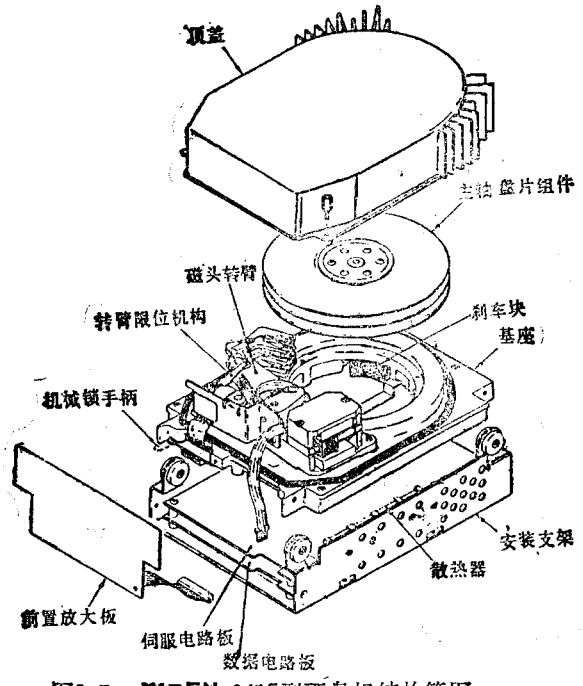


图8-3 WREN-9415型硬盘机结构简图

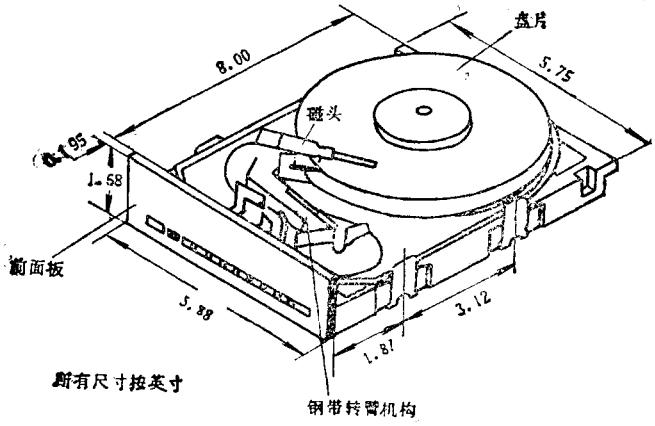


图8-4 ST-225型硬盘机结构简图

(1) 开路控制方式 开路控制方式的硬盘机有两个特征，第一个特征是使用步进电机(Stepping Motor)来驱动和控制磁头的位置。这种电子机械结构限制了定位的准确性和找道时间，适合于低容量、低速度的硬盘机。开环控制的第二个特征是，磁头位置控制线路仅将控制信号送给定位机构，使读/写磁头移动到目的磁道，而没有磁头位置信息的反馈，因此没有监视和反馈磁头位置的能力，至于步进电机磁头驱动装置的详细结构将在第三节中叙述。

(2) 半闭环控制方式 磁头定位系统的驱动装置仍为步进电机，找道时依靠步进脉冲，按开路方式由现行磁道快速移动到目的磁道。但为保证磁头能保持在磁道中心，要利用预先录写在盘片上的伺服定位信号，对磁头位置作微量的闭环调整。这种磁头定位技术通常称为嵌入式(Embeded)定位方式，最大特点是将定位信息嵌在数据磁道特定区

域。这样可以不必像伺服面闭环控制那样，用整个盘面录写伺服定位信息，使得低档的硬盘机有较好的性能——价格比。

(3) 闭环控制方式 磁头闭环控制是依靠磁头或特殊的位置传感器测量磁头小车的位置信息，并随时反馈到控制线路，以不断校正磁头的位置，使其始终保持在磁道中心。磁头位置闭环控制机构中的磁头驱动装置是音圈电机，能使磁头以极快的速度运动。因此闭环控制方式有很高的定位精度和极快的找道速度，是当前小型高档硬盘机采用的一种定位方式。闭环式磁头定位系统按其提供磁道息信的方式分有三种：

① 伺服面方式(Dedicated) 这种方式必须提供一个盘面用以录写伺服定位信息，这个面通常叫伺服面。为随时读出该伺服面上的信息，要设置一个专门的只读磁头(伺服磁头)。伺服面定位系统的工作方式有两种，一种是位置伺服方式(读取磁头所在位置的伺服信号)；另一种是速度伺服方式(计算通过几个磁道)。速度伺服使磁头快速地移到目的磁道；而位置伺服将磁头调整并保持在磁道中心。因此磁头的定位十分准确，径向磁道密度可超过每英寸1000道(TPI)，大约为开环控制方式的三倍。

② 埋入式伺服方式(buried Servo) 这是当前最先进的一种磁头位置闭环控制技术。其原理是利用磁盘片上磁层磁化深度会随信号频率的高低而异的原理，在磁层的深部写入频率较低的伺服定位信息(如图8-5)。读出时，磁头中既含有高频的数据信息，又含有低频的伺服定位信息。利用滤波电路可将定位信息取出，以便用作控制磁头位置之用。

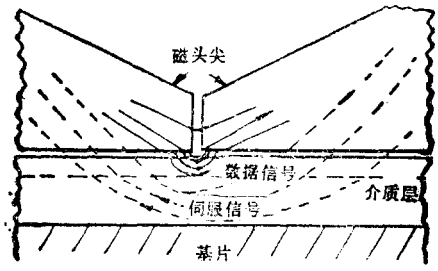


图8-5 埋入式伺服信息记录示意图

③ 光电伺服方式 伺服面定位方式必须使用盘片的一整面，作为伺服信息区，而嵌入式半闭环控制方式也要使用盘面上的一部分记录定位信号，因此不能最大限度地利用盘片记录数据。光电伺服方式可避免上述不足之处。光电伺服方式采用一对光耦合元件，一边发射光，另一边用光电晶体管接收光。在这对光电耦合元件中间有二片距离甚近的精确的光刻度盘(每英寸有500到2000个信号刻度)，活动部分安装在磁头支架上。当磁头移动时，活动光刻度盘与固定光刻度盘之间有相对运动，产生莫尔条纹，光电转换元件将敏感出磁头的位置，给控制线路提供反馈信号，形成闭环回路。

2. 按磁头运动方式分

(1)旋转式 硬盘机中多采用步进电机或旋转式音圈电机磁头驱动机构。在采用步进电机时，通过绞盘，钢带和转臂使磁头在盘面上作弧形运动。采用旋转式音圈电机时，直接驱动梳形结构的磁头安装臂，磁头相对于盘面也是弧形移动。磁头的这种运动方式有较高的耐震力。

(2) 直线式 在有些低档硬盘机中也采用直线式的磁头驱动方式。如Microsience公司的HH725型和Miniscribe公司的2012型硬盘机，虽采用旋转式的步进电机，但前者通过钢带、小车，后者通过齿轮、齿条将旋转运动变为直线运动。现在一些高档硬盘机中也有用直线音圈电机的，如Miniscribe公司的6053(容量53.3MB)、6085型(容量85.3MB)及Priam公司的514型(容量140.2MB)等5.25英寸硬盘机。

对于5.25英寸的硬盘机可分为半高度和全高度(简称半高或全高)。标准的全高尺

寸为3.25英寸×5.75英寸×8英寸；而半高尺寸为1.625英寸×5.75英寸×8英寸。在国内的微型计算机系统中，全高曾占有较大的比重，然而近年来半高产品已逐步占有一定比重，如格式化容量为20MB的Seagate公司的ST225，Microscience公司的HH725。

第二节　磁头结构与特性

一、磁头结构

磁头装置的结构如图8-6所示，主要由头块、弹性支架、安装臂等三大部分组成。按头块部分结构形式分，有三种基本类型的磁头广泛用于硬盘机中，它们是：整体形磁头(Monolithic Head)，合成型磁头(Composite Head)和薄膜磁头(Film Head)。这三种类型的磁头都包含有浮动块(Slider)、磁芯体(Core Assembly)、磁路缝隙即磁头前间隙(Gap)，其结构见图8-7。图8-8是合成磁头的头块部分放大图。

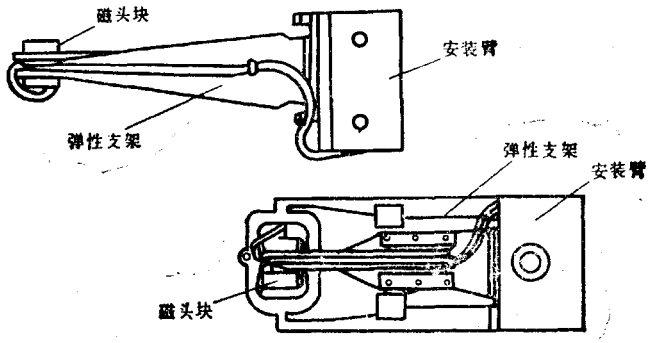


图8-6　磁头结构

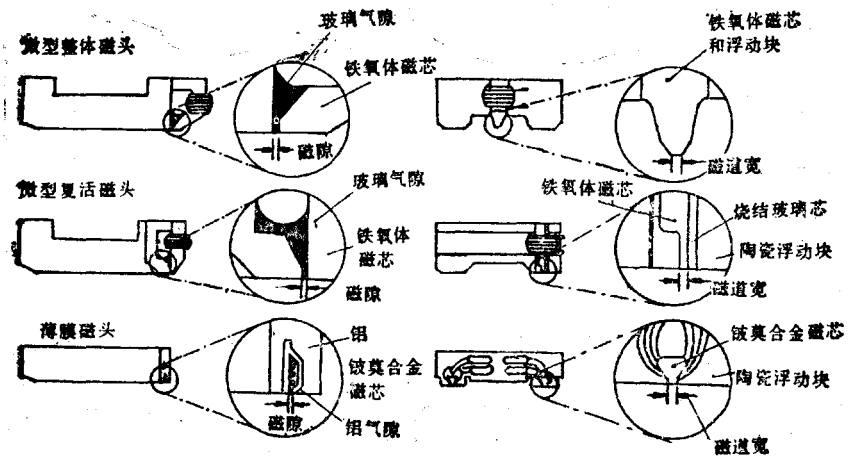


图8-7　三种硬盘机磁头的头块结构简图

1. 整体型磁头

整体型磁头自1973年问世以来，至今仍有相当一部分硬盘机采用这种类型的磁头，

主要是工艺成熟，价格便宜，具有较高的商业价值。整体型磁头的浮动块及磁芯作为一体，全是锰锌铁氧体，只有磁头缝隙部分灌注有陶瓷玻璃材料，其头块的尺寸为5.6mm×3.95mm×1.95mm。这种类型的磁头浮动块有三个轨，两个外轨使磁头依赖空气动力而飞行，距盘片表面约为20微英寸。中间轨包含读/写间隙(Read/Write-Gap)，决定写在盘片上的磁道宽度。当前整体型磁头能达到的最小磁道宽度为0.7毫英寸(17.78μm)，即道密度为900～1000TPI。

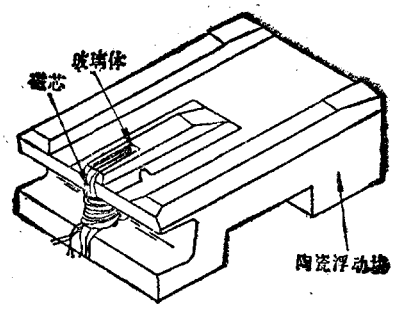


图8-8 合成磁头的头块结构放大图

为适应小型硬盘机的需要，在标准整体型磁头的基础上开发出微型整体磁头(Minilithic-Head)，其尺寸约为标准磁头的2/3，(长×宽×高=4.4mm×3.2mm×1.5mm)，而且使用不同的磁头安装方式，这就是所谓的Whitney技术，由于这种磁头的头块质量小，谐振频率高，因此飞行高度可降低到15微英寸左右。

2．合成磁头

合成磁头的浮动块为陶瓷材料。磁芯为锰一锌铁氧体，镶嵌在浮动块内，利用烧结玻璃，将含线圈的磁芯体包封起来，同时形成一定尺寸的读/写缝隙即磁头前间隙(见图8-7)。由于这种磁芯结构具有垂直的铁芯壁，使磁头的边缘效应大大降低，从而可减少磁道之间的相互影响进一步提高了磁道密度。合成型磁头的最小磁道宽度已达40微英寸(10.16μm)，因此磁道密度可达1200TPI。合成型磁头是七十年代末出现的，于1983年才大量生产，当前主要用于性能较好的中高档硬盘机中。

与整体型磁头一样，合成磁头也有尺寸缩小了的微型磁头，其尺寸为标准头的2/3，采用两轨浮动块结构，读/写线圈可镶嵌在任何一轨中，一般在外轨，这样可使更多的盘片表面用作记录数据。

3．薄膜磁头

薄膜型磁头的制造方法与集成电路类似，即利用真空沉积的过程形成磁头读/写线圈。薄膜磁头的磁芯材料是铁莫合金，在沉积的过程中可做得很薄。读/写缝隙用真空溅射的硬铝保护起来(见图8-7)。薄膜磁头的两个极片可做得很窄，约为10微英寸，使道密度可达2000TPI，位密度可达15000BPI～20000BPI。由于薄膜磁头制造技术复杂，合格率仅10%左右，当前生产厂家较少，随着技术的进步，这种磁头的生产成本必然会大幅度下降，可望大量用于硬盘机中。

二、硬盘机磁头的主要参数

作为硬盘机的重要部件，磁头的主要机械参数有磁头读/写缝隙宽度和厚度、飞行高度、磁头加载力等；电气参数有谐振频率、读出信号幅度、写电流大小等。表8-1是颇具代表性的日本ALPS公司生产的两种磁头的主要技术参数。

表8-1 ALPS公司生产的磁头参数表

类型 / 技术指标	微型复合磁头		微型整体磁头	
	HRHCA1 (800TPI)	HRHDA1 (960TPI)	HRLCA1 (800TPI)	HRLDA1 (960TPI)
间隙长度	1.0±0.2(μm)	1.0±0.2(μm)	1.0±0.2(μm)	1.0±0.2(μm)
道宽度	23±2(μm)	19±2(μm)	23±2.5(μm)	19±2(μm)
间隙深度	15±5(μm)	15±5(μm)	15±5(μm)	15±5(μm)
飞行高度	0.31±0.05(μm)	0.31±0.05(μm)	0.36±0.05(μm)	0.36±0.05(μm)
加载力	9.5±1(g)	9.±1(g)	9.5±1(g)	9.5±1(g)
电感(在1MHz时)	12±20%(μH)	12±20%(μH)	11±20%(μH)	11±20%(μH)
谐振频率	12MHz(min)	12MHz(min)	12MHz(min)	12MHz(min)
输出电压	0.8mV(P-Pmin)	0.6mV(P-Pmin)	0.7mV(P-P)min	0.6mV(P-Pmin)
重写残余度	-30dB(min)	—30dB(mim)	—30dB(min)	—30dB(min)
写电流	45mA(P-P±2%(OD)	同左	55mA(P-P±2%)(OD)	同左
	35mA(P-P±2%(ID)	同左	45mA(P-P±2%)(ID)	同左
	注：OD外圈 ID内圈			

第三节 磁头安装支架及其传动机构

硬盘机的磁头定位系统有开环和闭环两种基本控制方式。开环控制系统中用步进电机作为驱动装置；而闭环控制系统中用音圈电机作为控制系统的执行机构。由于驱动方式不一样，磁头安装支架及传动机构也有较大的差别。下面将对这两种基本结构加以说明。

一、开环式磁头驱动机构

在磁头作开环定位的小型低容量硬盘机中常见的定位方式有两种：

1。分离钢带式定位器

这种定位器使用一根分离式的“α”形钢带，一端缠绕在步进电机的绞盘上，另一端连在传动转臂上或磁头小车上，图8-9是分离式钢带传动的示意图。分离钢带式定位装置又分成旋转式和直线式，请参阅8-10。图8-10(a)的磁头定位机构沿着弧形路径旋转，而达到精确的磁头定位。磁头旋转定位方式的最大优点是耐震性较好，当硬盘机受到一些振动或冲击时，仅有很小一部分传到磁头上。缺点是磁头在盘片上的运动为弧形，在不同的区域磁头的读写缝隙与盘片的切线方向有夹角，使磁化方向相对磁道稍有歪斜。图8-11是一种典型的旋转式钢带传动定位结构图。8-10(b)为直线式定位机构。步进电机的旋转运动转换成磁头支架的直线运动。这种结构的优点是磁头在盘面上作直线径运动，磁化方向总与磁道一致，可减小磁道间的互相影响。缺点是抗震性较差。图8-12是Micro Science公司的HH612型(10MB)硬盘机的直线钢带驱动式磁头定位机构图。由图中可看出，磁头安装架靠四只滚珠轴承骑在圆柱形的导轨上。当步进电机转动

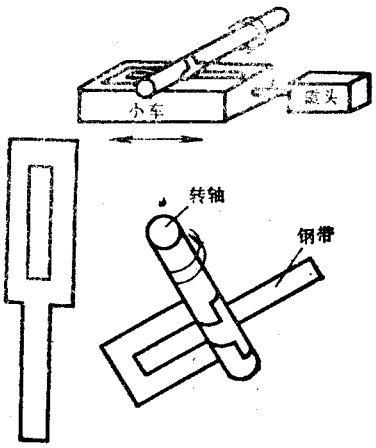


图8-9　分离式钢带结构

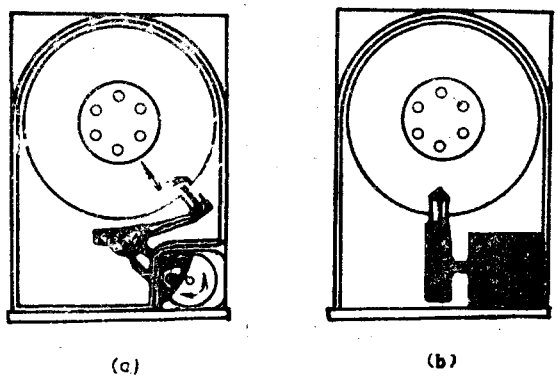


图8-10　两种钢带式定位机构简图

时，通过张紧的钢带驱动磁头小车沿着圆柱导轨移动，使磁头在各个位置总是指向盘片的旋转中心。磁头小车两侧的轴承起防扭作用，保证磁头小车运动时，无横向的滚转，使磁头保持正确的飞行姿态。HH612型硬盘机每个盘面装有两只磁头，外圈的磁头执行磁道区外缘到磁道区中心部分的读/写，而另一只磁头执行从磁道区中心开始到磁道区最内圈的读/写，这样可缩短磁头的平均找道时间。

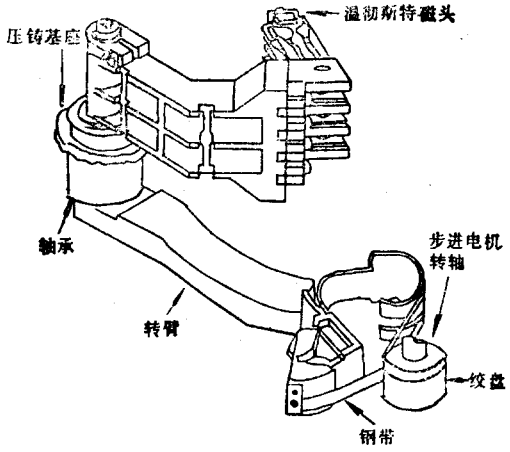


图8-11　旋转式钢带驱动结构

分离钢带式传动装置的钢带的厚度仅为0.03～0.04mm。由于张力恒定，没有回程传动间隙，摩擦力也较小。因此广泛用于低档的硬盘机，其传动精度决定于缠绕钢带的绞盘的加工精度。

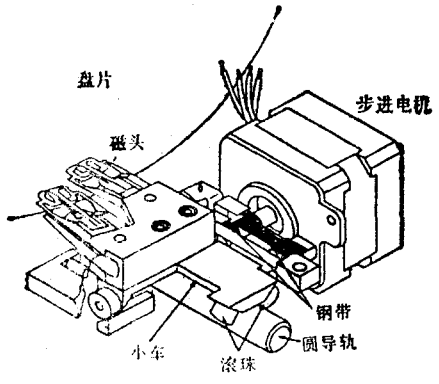


图8-12　HH612硬盘机直线钢带驱动式定位结构图

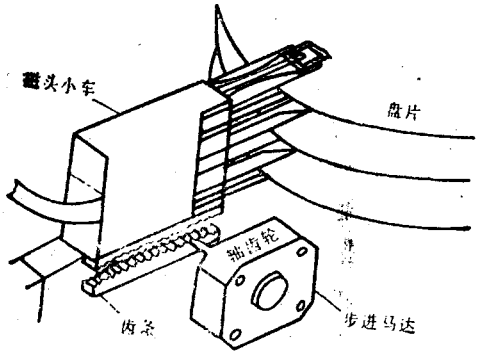


图8-13　齿轮齿条式传动机构

2．齿轮齿条式定位器

齿轮齿条式定位器的结构示意图见图8-13。步进电机的转轴上装有一个齿轮，经齿

条的转换，使步进电机的旋转运动变为磁头安装小车的直线运动。齿条齿轮式传动机构的优点是机械结构十分简单，所需的另件少，因此成本低廉，且传动精度也较高。缺点是齿轮齿条间有磨损，易产生污物影响HDA腔体中的洁净度，同时也会影响传动精度。这种传动方式首先在Miniscribe公司的低档硬盘机中被采用(如型号为2012的5.25英寸硬盘机)。

二、开环式定位的磁头安装支架

采用步进电机作磁头驱动电机时，要经过分离式钢带或齿轮齿条的转换，因此磁头在转臂上或小车上的安装采用压块压紧的方式，或将磁头的U形小安装架紧固在转臂上。

三、闭环式磁头驱动机构

在高档的的硬盘机中，要求磁头的定位精度高，平均找道速度快，故大量采用音圈电机作为磁头的定位装置。由于音圈电机的角运动或直线运动可直接传送给磁头，而不必经过传动机构的转换，因此磁头安装支架往往做成梳形结构直接固定在音圈电机的活动部份——线圈框架上。图8-14是这种定位机构的一种典型结构。根据磁头的运动方式，其结构形式有两大类：

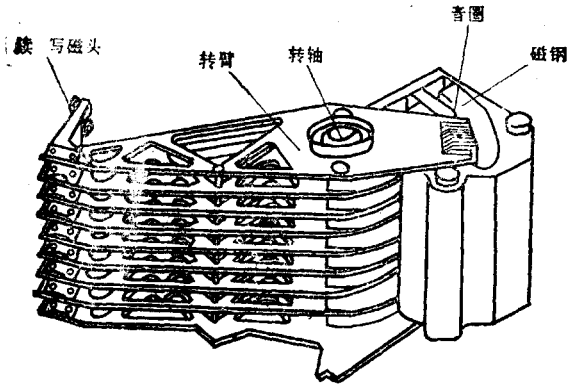


图8-14　音圈电机驱动的梳形结构

1. 直线音圈电机驱动装置

直线式音圈电机驱动装置可以直接驱动磁头作直线运动，它具有驱动速度快的显著优点。图8-15是直线音圈电机驱动装置的一个例子。

当控制电路给音圈电机绕组输以一定的电流时，音圈体沿其轴向作直线运动，从而带动与其牢固连接的磁头小车沿着导轨作相应的直线运动。四只滚柱轴承对磁头小车起主要的支承作用，另外两个滚珠轴承分别起侧向支承和预压作用。采用了这样的支承结构，磁头小车只有一个前后移动的自由度。图8-16是一种典型的小车导轨结构简图。

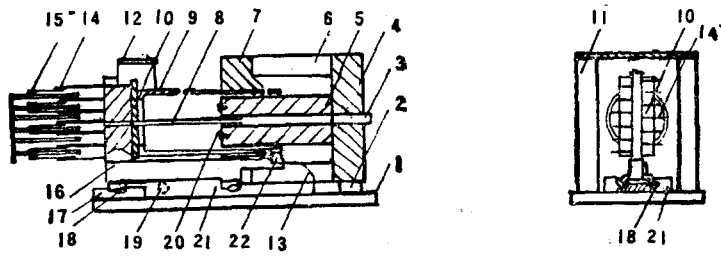


图8-15　直线式音圈电机驱动机构

1—底板，2～9—音圈电机部件，10—梳形板，11—立柱，12—龙门架顶板，13—软导线，14—取数臂磁头组件，15—盘片，16—滑车体，17—下导轨，18～19—滚珠轴承，20—减震橡皮　21—侧导轨　22—铝环

磁头小车和导轨是音圈定位机构中的主要构件。为了提高运动部分的机械振动的固有频率，有些硬盘机中将音圈体和磁头小车制成整体，有利于提高定位速度和控制系统高频随动特性的精确度。磁头小车一般采用铝合金材料制造，以尽量减小车体的重量，增大刚性。导轨部分是磁头小车的导向件，对其耐磨性及精度要求甚高。导轨部分常用的材料是铍青铜或不锈钢或高强度铝合金等非磁性材料，其中以铍青铜耐磨性最好。为提高耐磨性，在用铍青铜制作导轨时，要进行表面硬化处理，以使表面硬度达到 HRC30～35° 若采用高强度铝金合要在表面喷镀一层碳化钨薄膜。对于不锈钢导轨，表面要镀一层硬络。

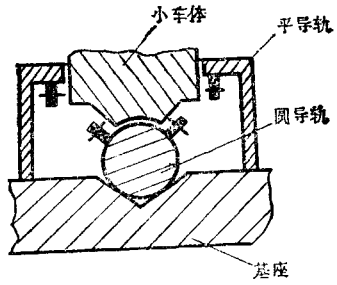


图8-16 直线式磁头小车导轨示意图

导轨的结构形式确保了磁头小车运动时，有良好的刚性和导向性，使小车前后移动时不产生蛇形现象，使上下、左右方向的运动保持在很小的范围内(一般在5μm以下)，因此对导轨及小车的加工、轴承的选择及装配精度都要求很严。

2．旋转式音圈电机驱动装置

旋转式音圈电机定位机构中，采用一种转臂结构体代替磁头小车。音圈体与转臂连为一体。当音圈体通有电流时，电磁力推动转臂绕支承转动，从而使装在转臂另一端的磁头组件相对于磁盘片作弧线运动(如图8-17)。采用转臂结构时，为使音圈作弧线运动，应将音圈骨架的截面作成扁方形。只利用它的长边上的导线工作，而它的两个短边内侧应有足够大的间隙，使它在作弧线运动时，不致与电机的中心磁极相碰。

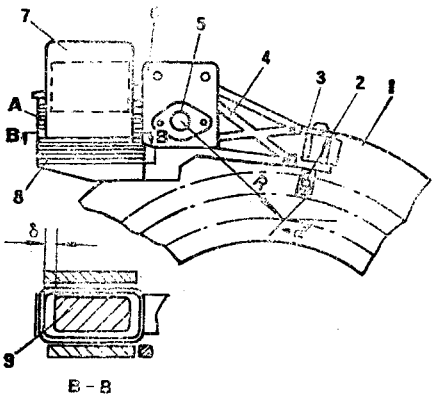


图8-17 旋转式音圈驱动机构

1—盘片 2—磁头组件 3—引臂 4—摇臂5—支承 6—支架 7—音圈电机 8—音圈 9—磁极

旋转式音圈电机驱动机构根据磁头安装支架相对于音圈的位置又分两种(图8-18)：

(1) 平衡式旋转音圈电机驱动装置 磁头安装支架和音圈配置在转轴的两侧，相对于转轴是平衡的。当音圈电机在控制电流的作用下带动磁头支架旋转时，一部分惯性力互相抵消，抗振动和冲击的能力强。

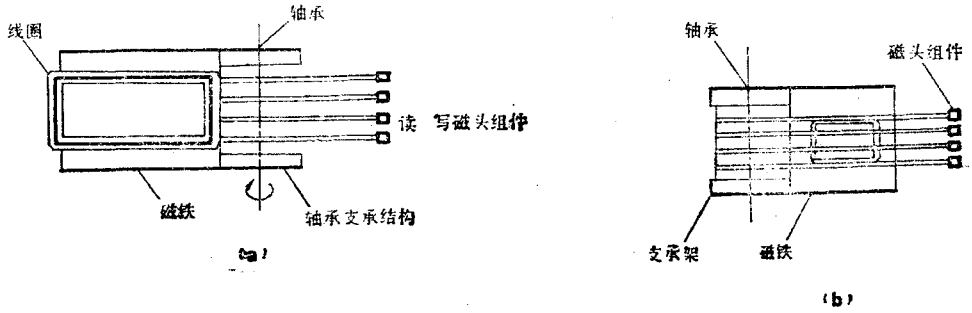


图8-18 两种旋转式音圈电机结构简图
(a)平衡式 (b)非平衡式

(2) 非平衡式旋转音圈电机的驱动装置磁头安装支架和音圈都配置在转轴的同侧，虽然抗振稳定性较差，但刚度相对于平衡式的旋转音圈驱动装置要好。在同样的体积内尽可能加长磁头的转臂，减小磁头在盘面上移动路线的弧度。但要求音圈要给出较大的驱动力以产生足够的加速度。

旋转式音圈电机与直线式音圈电机比较起来，各有优、缺点，所以都得到广泛的应用。直线式音圈电机的有效运动范围大，结构坚固；磁头相对于盘面作直线运动，驱动速度快，允许的磁道密度也更高。它的主要缺点是占用的体积较大，且支承轴至少需要六只，四只为导向轴承，二只为防扭轴承。旋转式的音圈电机只需要两只轴承作转动支承。其轴承对驱动机构精度影响很大，且很难预先补偿。所以驱动机构中轴承使用愈多，精度愈下降。为提高磁头小车的传动精度，要使用非常精密的轴承和严格导轨的加工要求，这样必然要提高成本。直线式音圈电机在大容量的高档硬盘机中用得较多。旋转式音圈电机的优点是结构紧凑，占用的空间省，所用的轴承少；缺点是磁头运动呈弧线，无法随时与磁道保持90° 的正交角，而会产生“旋头”(head Slew)误差，影响磁头的安定性、飞行高度和降低读出信号的信噪比。尽管如此，在最初的小型高档硬盘机中还是大量采用这种音圈电机驱动装置。

第四节 盘片驱动机构

硬盘机中的盘片是由霍尔无刷直流电机驱动的，关于这种电机的结构与原理，前面已作了较详细的介绍。为适应硬盘机的特殊要求，安装盘片的主轴部件和转子已成一体，这样可省去中间的传动机构，消除传动误差。除此之外，硬机中的直流无刷电机还具有如下特点：

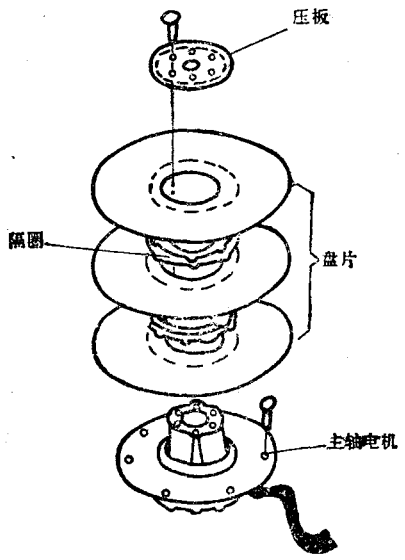


图8-19 主轴电机及盘片安装示意图

(1) 由于硬盘机在正常工作时，盘片额定转速为3600转/分，电机采用了外转子结构，以增大电机的转动惯量，使一些外界的干扰不易引起转速的变化，可提高转速的稳定性。

(2) 采用了磁流体密封技术，防止外部的空气通过轴承孔和转轴之间的配合间隙进入头盘组件的腔体之中。

(3) 由于装配误差等原因引起的质量分布不均匀，当高速旋转时，会产生较大的震动和噪音，不仅会缩短电机的使用寿命，还会影响读/写的稳定性。因此每台电机在装入硬盘机之前，必须作严格的动平衡校准。

图8-19是用于5.25英寸硬盘机中的主轴电机外形及盘片安装的示意图。由图中可看出盘片依靠压板固定在电机的转轴上，盘片与盘片之间以隔圈分开。

表8-2是日本Nidec公司生产的用于5.25英寸硬盘机的霍尔无刷直流电机的主要参数。

表8-2 霍尔无刷直流电机参数

技术参数 \ 型号	05FH9B2004	05FH9B2003
电 压 (V)	12±1.2	12±1.2
功 率 (W)	4	3
额定力矩 (g.cm)	100	80
起动力矩 (g.cm)	200	200
额定转速 (RPM)	3600	3600
额定电流 A	1.0	0.9
使用温度	—5 °—～45°	—5° C～45° C
可装盘片数	3	2
重 量(g)	550	535

第五节 空气净化机构

硬盘机的最大特点是磁头与盘片置于一个净化等级为100级的密封腔体中，以保证磁头与盘片之间的浮动间隙为亚微米级时，不产生“划盘”的危险。工厂在装配HDA组件时，是在100级的超净厂房进行的。虽然装配好的HDA是密封的，但由于在盘片高速旋转时，磁头在盘片上作接触式启/停，以及传动机构的磨损，总还会产生一些微粒或尘埃，因此在HDA的腔体中还必须设置空气净化系统，以保证流过盘片表面的空气是超净的。

硬盘机中的过滤器分两级：第一级是一个“呼吸”过滤器，它固定在底座或顶盖上。一方面保持HDA内部与外界的空气压力相等；另一方面又阻止外界空气的尘埃进入HDA之中。第二级是置于HAD内部的循环过滤器。循环过滤器对直径大于0.3μm的尘埃的过滤效率可达99.97%。在HDA内部，当盘片高速旋转时，空气相对于盘片的摩擦，使得盘片象一个“气泵”一样，迫使空气在HDA中形成与盘片旋转方向一致的环流，在盘片转轴的附近压力最低，而在盘片的外缘压力最高。循环过滤器的入口安放在高压区，正对着循环气流，在盘片“气泵”的作用下，强迫空气流不断进入循环过滤器，经过滤后，再从HDA的上部进入盘片的中心区。因此只要盘片旋转起来，HDA内部的空气将被连续过滤，以保证磁头能正常浮动于盘片表面

用于5.25英寸硬盘机的呼吸过滤器结构十分简单，常常是在对着主轴中心部位的HDA的顶盖上开一些直径约为1.5～2mm的小孔，再用一层孔径不大于0.3μm的过滤纸粘贴在顶盖的内壁上。在使用过程中切不可用尖锐物体通破这层过滤纸。循环过滤器的结构稍复杂一些，常做成厘状，孔径0.3μm过滤纸用波纹状的骨架支承起来，再用有机胶质固连在过滤器外壳的内壁上。

第六节 HDA的结构特点及其他附件

硬盘机的HDA主要由底座、顶盖和密封垫三大部分组成。按照底座及顶盖的形状，

主要有两种结构形式：一为盒式结构；另一种为薄盖式结构。前者的底座为平板基座，顶盖是深冲压成形的金属盒盖；后者的底座是带有侧壁的压铸件，顶盖为一薄型的盖板。

HDA的底座是铝合金的压铸件，硬盘机的其他部件都安装在这一部件上。底座上要用机械加工的方法开有两个圆孔，用于安装主轴电机及磁头定位机构。由于磁头在作快速找道时，加速度较高，盘片又作高速旋转，故要求底座要有足够的刚性和良好的散热特性。因此底座上要有一些加强肋条。有的硬磁盘机的侧壁上还带有一些散热用的短叶片。由于底座的形状复杂，尺寸公差要求严格，所以是硬盘机中加工量最大的结构件。

HDA的顶盖结构简单，单片的盖板可用冲床加工；而盒盖式的顶盖要用专用模具深冲压成形。HDA的密封垫在底座与顶盖的结合部，两者压紧时可保证HDA腔体内的密封性。密封垫通常是海绵状具有抗静电性能的合成有机材料。这样，不会吸附外部灰尘。

硬盘机的安装支架是通过弹性合成橡胶的减震垫，固定在HDA的底座上的。这样，可提高硬盘机的抗震、抗冲击性能。

5.25英寸硬盘机的面板部件十分简单，一般只嵌有一只红色的发光二极管指示灯，在硬盘机选中时发光。当有故障时，有的硬盘机也会使这只指示灯按一定的规律闪烁。闪烁的方式在产品使用说明中有明确的规定。有些硬盘机如 Micro Science 公司的HH 612，HH725等硬盘机有二只指示灯：一为红色，一为绿色。红色指示灯在硬盘机选中时发光；绿色指示灯在加电启动自检完毕而处于准备好状态(又称就绪状态)时燃亮。但在硬盘机有故障时，根据故障种类，绿灯按一定编码方式闪烁。

第九章　硬盘机电路

硬盘机电路，按功能分四个基本部分：读/写电路；主轴转速调节电路；磁头位置控制电路及功能逻辑转换电路。虽然硬盘机有多种型号，电路也各有特色，但其基本原理却大同小异。因此本章将通过具体例子，较详细地分析常用的硬盘机电路，使读者熟悉一些典型电路的原理，并能进行电路故障的分析与维修。

第一节　单片机在硬盘机中的使用

随着半导体技术的发展，大规模集成电路的制造工艺不断进步，1976年Intel公司就推出了把CPU、存储器、I/O端口集成在一个器件上的单片机新产品，在仪表、计算机外部设备、自动化设备、工业控制装置中得到广泛应用。目前，硬盘机中系统控制逻辑，自诊断、运行状态的检测、主轴转速调节、磁头位置的控制等都由单片机来实现。从而大大简化了硬件设计，缩小了电路部分的体积，降低了功耗，提高了系统的可靠性。因此，集成电路技术的日新月异是硬盘机飞跃发展的重要支柱之一。

硬盘机中使用得最多的是八位单片机。应用较广泛的是四个著名半导体厂商的产

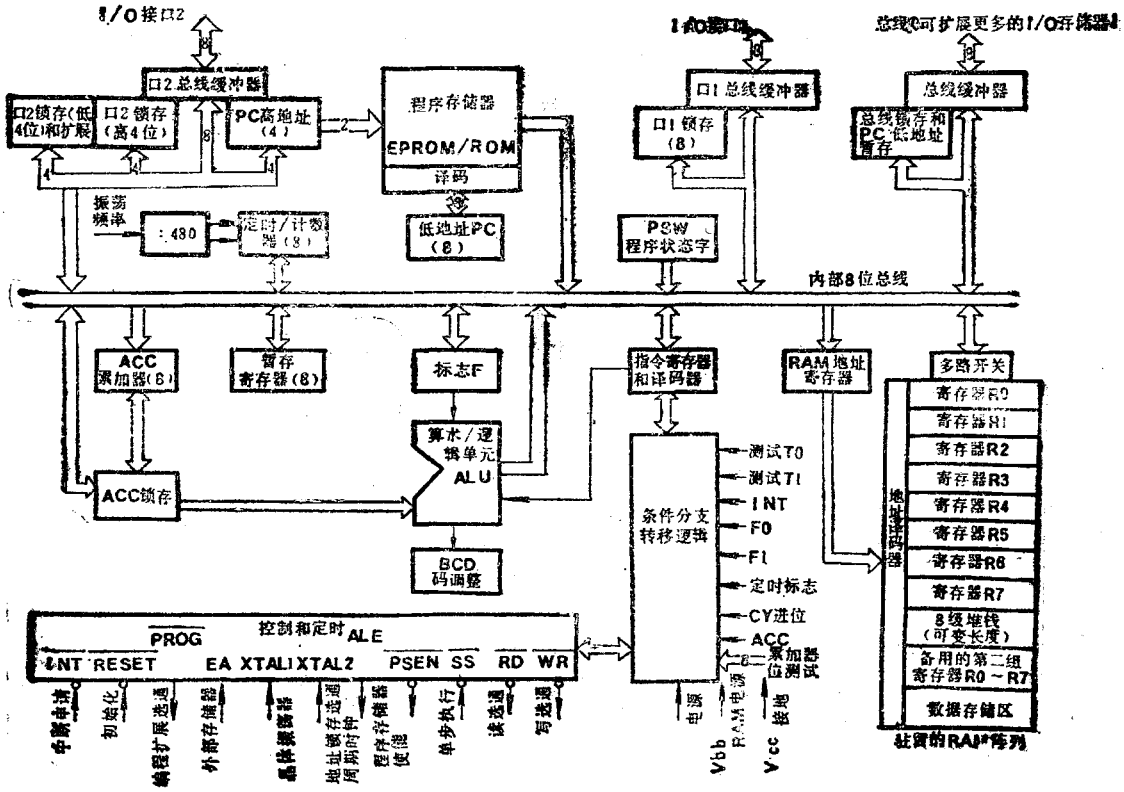


图9-1　MCS-48系列单片机框图

品，即 Intel 公司的 MCS-48 系列的8048(8748)、8049(8749)、8050；Moterola 公司的 6803，68705；Rockwell 公司和 NCR 公司的 6500/1等。下面仅以 Intel 公司的单片机 8749为例对其结构和原理作简单的说明。

图9-1是MCS-48系列单片机的内部结构，主要组成有：

(1) 中央处理器(CPU)。

(2) 程序存储器ROM或EPROM。

(3) 数据存储器RAM。

(4) I/O端口。

(5) 定时器/事件计数器。

(6) 指令寄存器和译码器。

(7) 程序状态寄存器。

(8) 指令计数器和堆栈。

(9) 条件转移控制逻辑。

(10) 控制和定时逻辑。

这几部分通过内部总线连在一起，进行相互间的数据交换。单片机算术逻辑部分的工作及指令的执行与一般的微处理器没有什么大的差别，只是功能上有所简化而已，因此不多作介绍。如欲获得这方面的详细说明，可参阅电子工业出版社出版的《单片微型计算机MCS-48 MCS-51应用手册》。

下面仅就单片机在使用中的一些特殊之处作简单说明。

1. 程序存储器

MCS-48系列单片机的程序存储器又称为常驻程序内存，由 1024，2048 或 4096 个八位字长的存储单元组成。表9-1列出了不同型号的产品的内存容量。单片机的程序存储器用于存放用户的专用程序，其中有三个地址单元有固定的用处，存放三个专用的地址矢量如图9-2所示。

表9-1 几种单片机的存储器容量

单片机型号	8048AH	8049AH	8050AH	8748H	8749H
存储器类别	ROM	ROM	ROM	EPROM	EPROM
存储器容量	1K	2K	4K	1K	2K

(1) 地址000H(H表示十六进制)存放系统总清时的入口地址。当“$\overline{\text{RESET}}$”有效时，程序计数器清零，单片机将由 000H 地址读取指令而进入单片机的驻留程序。所以000H 地址为复位矢量。

(2) 地址 003H 存放外部中断矢量（$\overline{\text{INT}}$）。当“$\overline{\text{INT}}$”信号为低电平，且单片机响应了中断请求，则中断主程序，而转入 003H 地址(即转入中断服务子程序的首地址 003H)。

(3) 地址007H 存放内部(计时器溢出)中断矢量。当单片机内部的定时器/计数器有溢出而发出中断请求时，主程序跳转到定时器/计数器的中断服务子程序的首地址 007H。

2. 数据存储器

MCS-48系列单片机的常驻数据存储器用于执行程序过程中的数 据中转 及作为堆栈用(见图9-3)。其容量随型号不同而不同，有64×8，128×8，256×8三种。

3. I/O接口

MCS-48 系列的单片机 8048AH/8748H，8049AH/8749H 及 8050AH 的 功能是相同的，都有27根I/O线和相同的八位内部计时器/计数器。27根 I/O 线有三组八位并行I/O

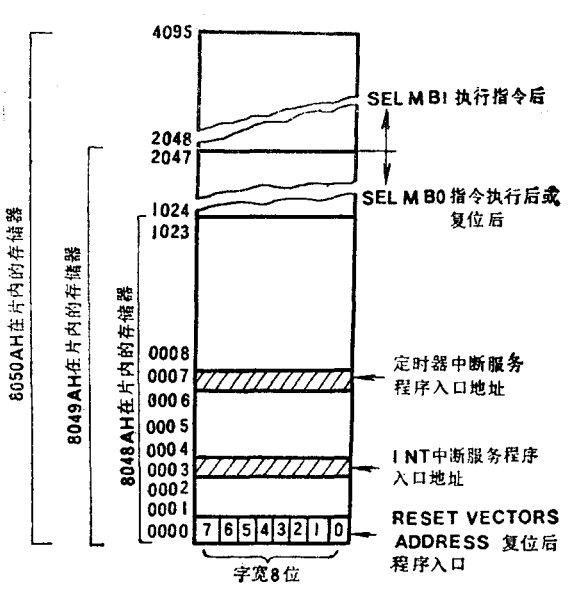


图9-2 程序存储器单元分配

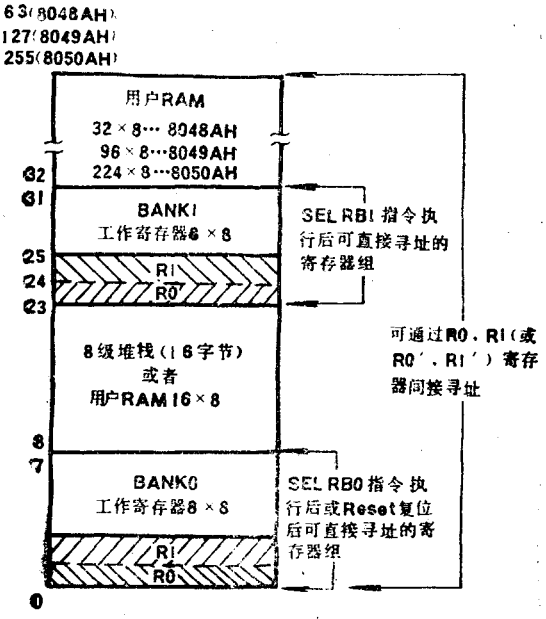


图9-3 数据存储单元分配

接口，分别组成总线($\overline{BUS}$)、端口1(或接口1)和端口2(或接口2)；另外三根是测试信号线$\overline{INT}$、T_0和T_1。其中端口1与端口2为准双向端口；而数据总线是真正的双向 端口。另外的三根测试信号线是单向的。

图9-4是MCS-48系列单片机的管脚及外接信号的排列图。表9-2是各管脚所接信号的功能说明。图9-5是MC6803和6500/1的管脚排列图。

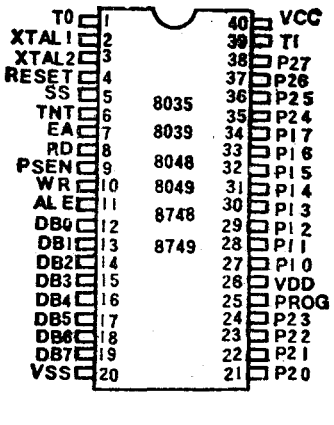
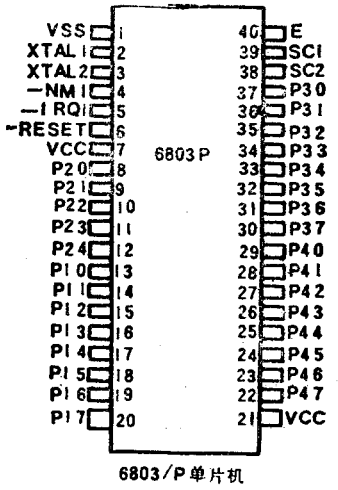


图9-4 MCS-48系列单片机管脚图



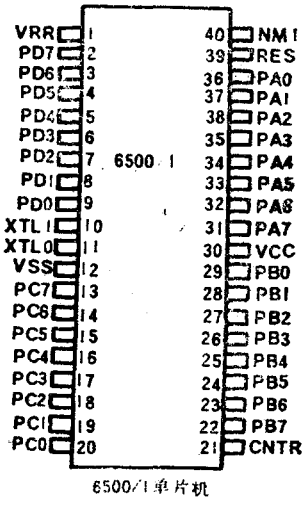


图9-5 6500/1和6803单片机管脚排列图

表9-2　MCS-48单片机外接信号说明

信号名称	管　脚	功　　能
Vss	20	线路接地电位GND ① 正常工作时接＋5V ② 断电时接备用电源 ③ EPROM编程时，8748H或8749H接＋21V8748接＋23V
Vcc	40	主电源＋5V，在工作与EPROM编程时用。
PROG	25	① 使用8243I/O扩展时输出选通信号 ② EPROM编程时：8748接＋23V，8748H或8749H接＋18V
P10～P17 （端口1）	27～34	① 8位准双向端口 ② 在8749H编程时，P10，P11接“地”
P20～P27 （端口2）	21～24 35～38	① 8位准双向端口 ② P_{24}～P_{27}在从外部程序存储器读指令输出PC中高4位地址。 ③ 在使用8243扩展时作为4位I/O总线
DB0～DB7 （总线）	12～19	① 真正的双向端口，并使用$\overline{RD}$、$\overline{WD}$信号同步选通，也可以输出数据静态锁存 ② 从外部程序存储器读指令时输出PC的低8位，并在$\overline{PSEN}$控制下接受所寻址单元处的指令。 ③ 在从外部数据RAM读写数据时，输出地址，并在ALE，$\overline{RD}$和$\overline{WR}$信号控制下传输数据
T0	1	① 在执行JTO和JNTO指令时，输入测试信号判转用 ② 执行ENTO CLK指令后，输出时钟 ③ EPROM编程时用作控制信号(8748H，8749H)
T1	39	① 在执行JT1和JNT1指令时，输入测试信号判转用 ② 执行STRT CNT指令后，作为事件计数器的计数脉冲输入
$\overline{INT}$	6	① 中断申请输入线，可由软件屏蔽。低有效，至少必须保持三个机器周期的低电平，才能有效工作 ② 通过执行JNI指令，作为测试输入判转用。(低电平有效)
$\overline{RD}$	8	① 总线输入时有效，可用于选通外设数据到总线上 ② 用作对外部数据存储器的读数据选通。(低电平有效)
$\overline{WD}$	10	① 总线输出时有效，用于外设从总线取走数据时的选通 ② 作为向外部数据存储器写入数据的选通。(低电平有效)
$\overline{RESET}$	4	① 作为单片机初始化的输入信号(低电平有效) ② 掉电时用(8048AH，8035AHL，8039AH，8039AHL，8040AHL，8050AH) ③ EPROM编程时使用(8748H，8749H) ④ 在ROM内容校读时用(8048AH/8748H，8049AH/8749H，8050AH)
ALE	11	① 地址锁存允许信号，每个机器周期输出一次，并可作为时钟输出 ② ALE的下降沿作为外部数据存储器和程序存储器的地址锁存信号
$\overline{PSEN}$	9	程序选通允许信号(Program Strobe Enable)，只在从外部程序存储器读取指令（操作码及操作数)时出现(低电平有效)
$\overline{SS}$	5	单步执行的控制输入信号。与ALE配合使用，控制单片机一次读取并执行一条指令（低电平有效）
EA	7	① 访问外部程序存储器的输入控制信号。该信号强使单片机到外部程序存储器读取指令，用于仿真和调试。 ② EPROM编程序时，8748接23V，8748H/8749H接18V ③ ROM版本校验时8048H/8049H接＋12V
XTAL1	2	晶振的一根引线，作为内部振荡器的输入，也可作为外部时钟的输入
XTL2	3	晶振的另一根引线，是内部时钟振荡器的输出

硬盘机中的单片机主要完成以下功能：

（1）加电启动时的逻辑和时序控制；

（2）转速检测及调节；

（3）接受磁盘控制器来的串行找道脉冲，按最佳控制的函数关系给出磁头移动速度的控制信号，以及确定磁头精定位的控制状态；

（4）各种故障的检测；

（5）产生控制器所需的各种状态信号；

（6）产生按磁道区域改变写电流大小的控制信号。

单片机内部的控制程序是在产品开发阶段，通过开发系统的编程装置写入单片机EPROM中的。在产品转入大批量生产阶段，控制程序在单片机的生产过程中就采用掩模工艺固化在ROM中。只要硬盘机一上电，单片机将由程序存储器的000H地址开始，自动进入固定程序的运行阶段。首先设置步进电机的初始控制相位（对音圈电机要设置初始平

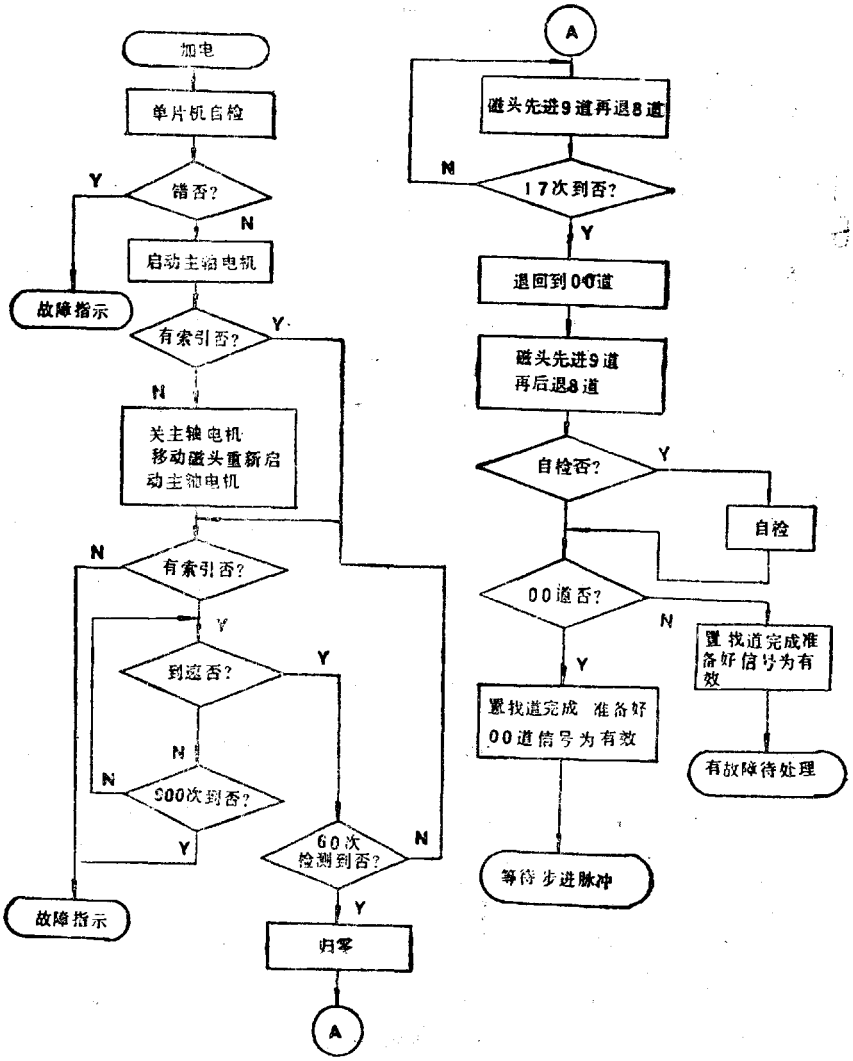


图9-6 HH725硬盘机启动流程图

衡位置），并使所有的端口清零，然后发出启动主轴电机的控制信号，并检测转速。在主轴达到额定转速后，按一定的方式移动磁头，最后使磁头停在“00”道，向磁盘控制器送出“00道”信号（Tracko）。硬盘机“准备好信号”（READY）及“寻找完成”信号（SEEK COMPLETE）。表示硬盘机启动阶段完成，可接受来自控制器的寻找/读/写命令。这几步都是在单片机里固有程序控制之下自动进行的。固化在单片机内的程序，随每个不同型号的硬盘机而异。本书无法一一列举各种产品的流程图。作为例子，只对Microscience公司的HH725型半高硬盘机（容量为20MB）的启动、找道、转速检测等程序作一简单说明。

图9-6是加电后的启动流程图。硬盘机加电后，电路中产生的清零信号（RESET）首先使单片机对各端口、定时器/计数器进行自检，并对RAM的有关单元设置初始值。如单片机自检出错，则作故障办理。若自检通过，则由端口2发出启动主轴电机的信号，使电机运转。通过检测索引信号的状态（索引信号加于单片机的T_2端），测定电机的转

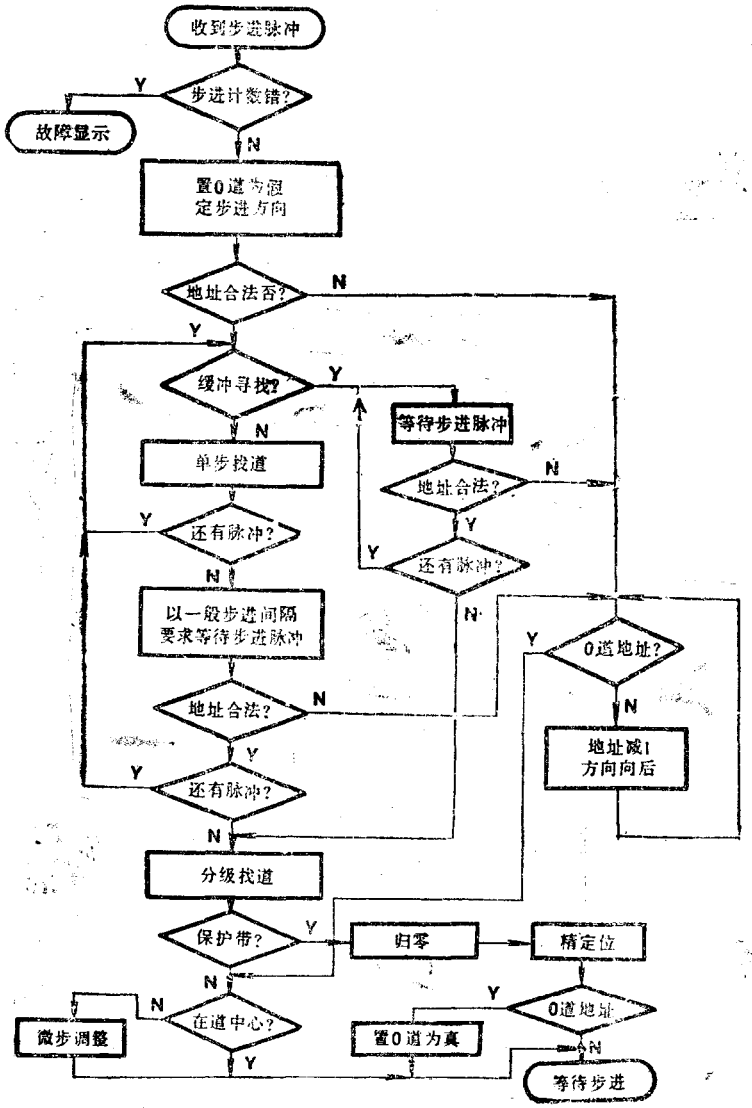


图9-7 HH725硬盘机找道流程图

速。待转速到达额定值(3550转/分±0.1%)时，端口1发出控制步进电机的步进信号，使磁头归到“00”道。在执行归零动作之前，为确保主轴电机的转速完全稳定，对电机的转速要反复检测60次(如转速经900次检测还未到额定值，就有故障指示)。磁头处于“00”道之后，单片机控制步进电机驱动磁头前进9道，随后又退8道。如此反复，直至磁头到达17道，最后再退回到“00”道。磁头再退到“00”道之后，步进电机又驱动磁头进8道，退8道的两地址找道。到此为止，单片机再检测一下有无硬盘机自检信号。若有，则进入自检状态；若无，则在确认磁头处于“00”道后，置零道($\overline{\text{TRK00}}$)、准备好($\overline{\text{Ready}}$)、找道完成($\overline{\text{SeekComplete}}$)三个信号为有效，表示硬盘机加电启动完毕。如磁头未在零道表明有故障，待处理。

当主机通过硬盘控制器向硬盘机发出串行的步进脉冲时，单片机进入找道状态。单片机控制步进电机找道有两种方式，即一般步进找道和缓冲步进找道。所谓--般步进找道，就是控制器发来的步进脉冲的间隔为3～8ms时，步进电机将以与输入步脉冲一样的频率驱动磁头到达目的磁道。当控制器发来的步进脉冲的间隔为10μs～200μs时，步进脉

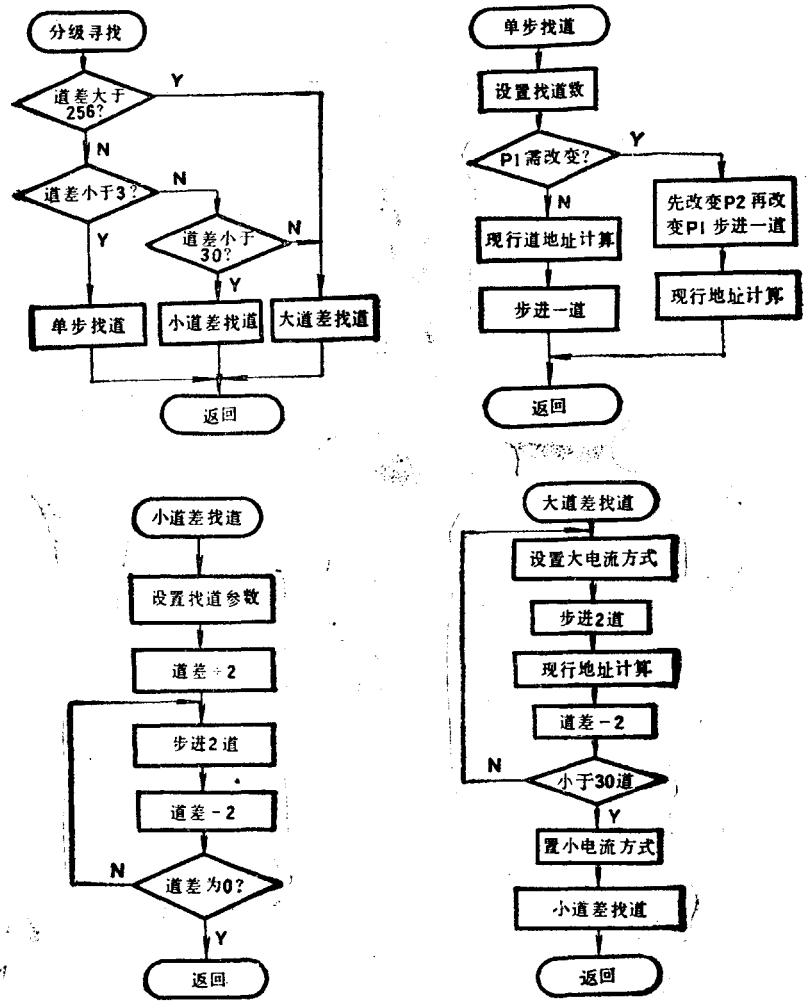


图9-8 HH725硬盘机找道速度控制流程图

冲先存入单片机内部，根据目的磁道地址与现行磁道地址的差值，由程序自动查找固化在ROM中的找道速度值，通过端口发出步进控制信号，使步进电机驱动磁头，以最佳的运动速度快速移动到目的磁道。这就是所谓的缓冲步进找道方式。图9-7是找道时的单片机控制流程图。单片机由T_1端口接收步进脉冲后，在确认计数器功能正常的情况下，则置$\overline{TRK00}$信号为高电平，并设置步进方向($\overline{Direction\ In}$)。此时，程序中应判断一下磁头欲达到的目的磁道是否合法。若不合法，则应以道地址减1的方式，后退到“00”磁道，等待新的找道命令。若目的磁道地址是合法的，还应判断是一般单步找道，还是缓冲找道，然后根据道差数确定控制步进电机的方式(见图9-8的流程图)。当磁道地址差N小于3时，按单步找道方式驱动磁头到达目的道地址。当道差地址$3 \leqslant N < 30$时，按小道差的速度驱动磁头；当道差地址$30 \leqslant N \leqslant 655$时(由于已检查过地址合法即小于655，故图9-8只判道差大于256否或小于30即可)，按大道差的速度驱动磁头。只要磁头未进入内、外保护带内，则在微步调整后磁头将停在目的磁道的中心，找道完成信号($\overline{Seek\ Complete}$)为有效，等待新的步进命令。若磁头进入保护区，则调用归零子程序使磁头回到“00”道。

在硬盘机的正常工作期间，单片机要每隔一段时间检测主轴电机的转速，下面是HH725型硬盘机检测转速的程序。

```
22B  SEL  RB1
22C  MOV  R5, #1F      置检测索引脉冲为高电平的循环次数;
22E  JNT0 36           T0端口输入索引脉冲，判断索引脉冲是否为高电平;
230  DJNZ R5, 2E
232  MOV  A, #C        索引脉冲高电平持续期大于302μs时作出错处理;
234  JMP  9D  P=1
236  MOV  R5, #AF      置检测索引信号为低电平的循环次数;
238  JTO  4F
23A  MOV  R6, #8
23C  JTO  4F           索引由低电平转为高电平时，返回主程序，作下一轮测试的准备;
23E  DJNZ R6, 3C
240  JTO  4F
242  DJNZ R5, 38       反复测试索引脉冲信号为低电平的时间;
244  SEL  RB0
245  MOV  R1, #1       设置转速超差时重新测试的循环次数;
247  MOV  R0, #5
249  CALL 1D  P=7
24B  ANL  P1, #3      作60次反复测试判转速是否超差;
24D  JMP  2B  P=2     转速正常后作正常转速的检测;
24F  SEL  RB0
250  RET
```

图9-9是HH725硬盘机正常运转期间检测转速的流程图。从程序和流程图看出，若在正常运转期间，转速的变化保持在正常范围内（额定转速的$\pm 0.1\%$），则检测到的索引信号的正向脉冲宽度及其周期均正常，因此立即返回主程序。若转速超差，则要调用检测判断转速是否正常的子程序。在转速正常后，还要重新作一次转速是否正常的测试，

才能返回主程序。为什么对转速的检测如此严格？这是因为若转速超差，将引起读/写出错，硬盘机将无法正常工作。

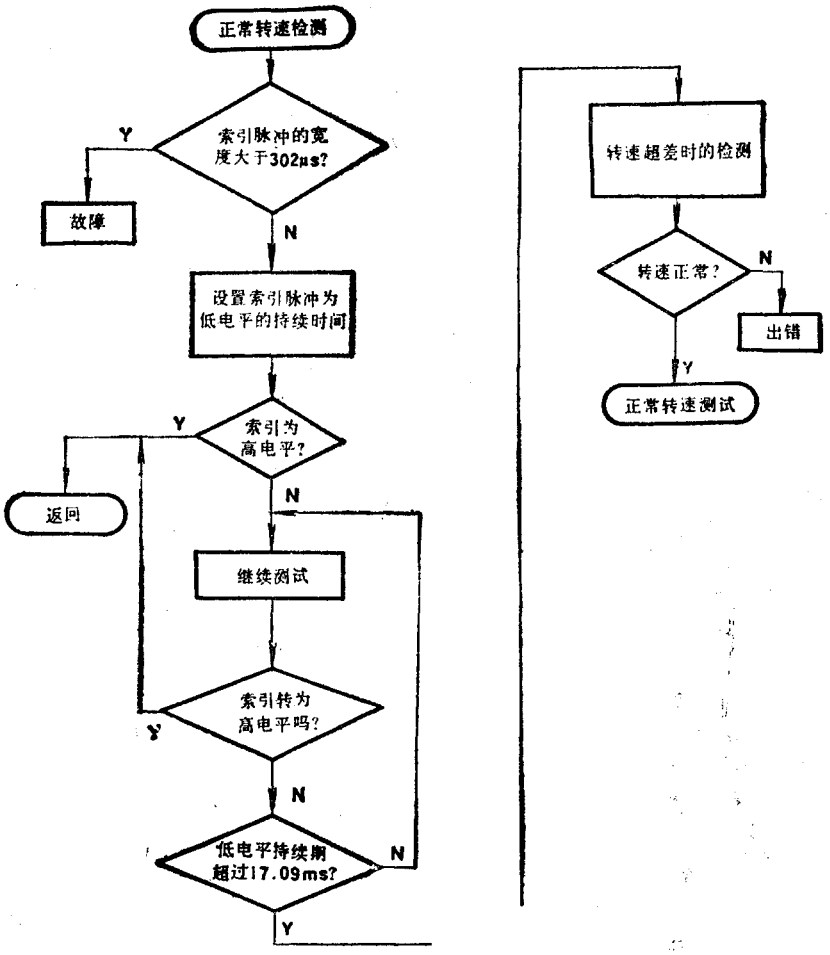


图9-9　HH725硬盘机转速检测流程图

对不同类型的硬盘机，不仅所用的单片机不同，其内部固化的控制微程序，外部控制功能也有很大的差别，所以单片机的外接信号差异甚大。

第二节　读/写电路

5.25英寸硬盘机中的读/写系统与所有磁盘机一样，承担着在盘片上记录数据信息和在需要时取出信息的任务。其基本组成包括读/写电路、磁头和盘片。其中读/写电路在写入信息时，根据磁盘控制器送来的MFM制编码数据脉冲，转换成写驱动电流，通过磁头在盘片(记录介质)上产生代表一定信息的磁化翻转。在读出信息时，读出电路接收盘片上磁化翻转在磁头线圈中产生的感应电势，经放大、整形后，以MFM制的数据脉冲提供给磁盘控制器。磁头线圈带有中心抽头，在写入数据时作为写线圈，而读出时作为读出线圈。因此，磁头在读/写系统中只起电磁转换作用。盘片是记录信息的媒介。图

9-10是硬盘机的读/写系统的原理框图。由于磁头与盘片的结构和性能已在前面的章节中介绍过，本节主要叙述读/写系统的电路原理。

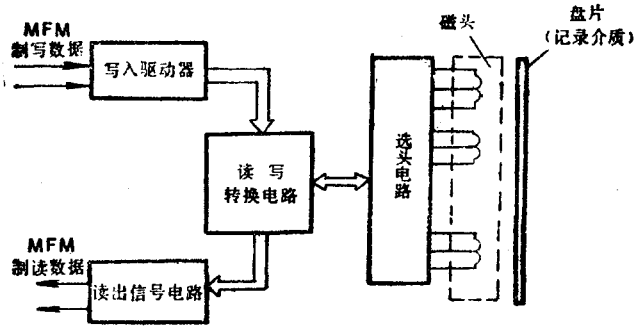


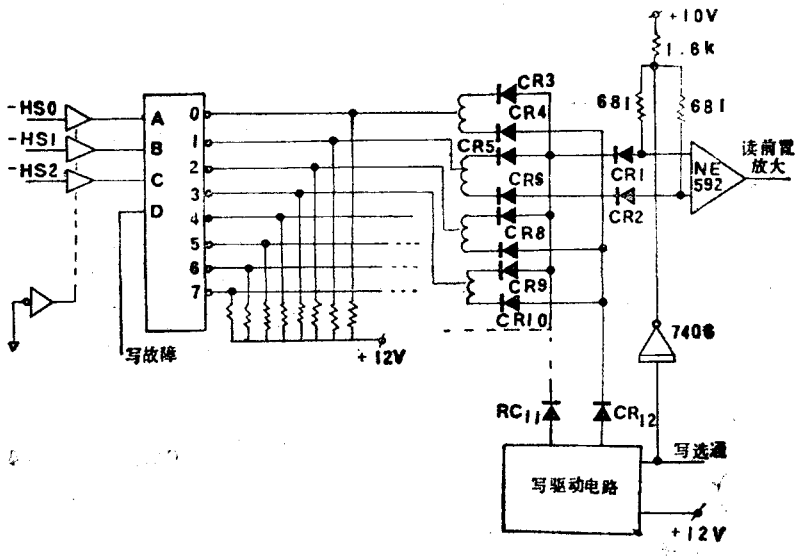
图9-10 硬盘机读/写电路框图

一、选头及读/写转换电路

在硬盘机中，因为有多个记录面，或一个面上有数个磁头，而进行读/写时只能选中其中的一只磁头，因此要有选头电路。又因为读/写共用了一个磁头线圈，为避免写时的信号进入读前置放大器，要采用读/写转换电路，使选中的磁头在写时与写驱动电路联系起来，而与读出线路隔离开；在信号读出时，刚好相反，选中的磁头与读电路相接，而与写电路隔离开。下面以两种典型的硬盘机的选头电路为例，说明选头电路的原理和读/写是如何转换的。

1. 磁头选中时中心抽头接“地”的选头电路

图9-11是磁头选中时，中心抽头接“地”，而未选中时接+12V高电平的选头电



注：CR11(图中为RC11)上的虚线应为实线

图9-11 ST506硬盘机的选头电路

路。图中的SN7445为开路门输出的BCD(二—十进制译码器)译码电路，其输出端为低电平时的灌入电流可达70mA。根据该器件的特性，当“写故障”(Write Fault)为高电平时，不管A、B、C三个输入是什么状态，0～7的八个输出端全为开路高电平，相当于

在所有磁头的中心抽头加有+12V的高电平，八只选头二极管CR3～CR10全部处于反向截止状态，硬盘机既不能写也不能读。当“写故障”为低电平时，根据－HS0，－HS1，－HS2三个信号的状态，输出端0～7的八个输出端必有一个为低电平(见表9-3)，对应的两只选头二极管处于正偏导通状态。当有写选通(Write Gate)信号时，写驱动电路工作。读/写隔离二极管CR1、CR2截止，CR11，CR12导通，写电流将流过选中的磁头线圈，将数据记录在盘片上。在此同时，因CR1、CR2截止，切断了写数据信号到读出前置放大器的通路。当进行读操作时，写选通信号为低电平，由于选中磁头的中心抽头接地，读/写隔离二极管CR1、CR2因低电平写选通信号经7406反相后使其导通，而CR11、CR12因写驱动电路不工作而截止，选中磁头中感应出的信号将耦合到读出前置放大器。

表9-3　7445的输出状态表

输入信号			输出信号							
－HS0	－HS1	－HS2	0	1	2	3	4	5	6	7
H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H
L	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H
H	L	H	H	H	L	H	H	H	H	H
L	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H
H	H	L	H	H	H	H	L	H	H	H
L	H	L	H	H	H	H	H	L	H	H
H	L	L	H	H	H	H	H	H	L	H
L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	L

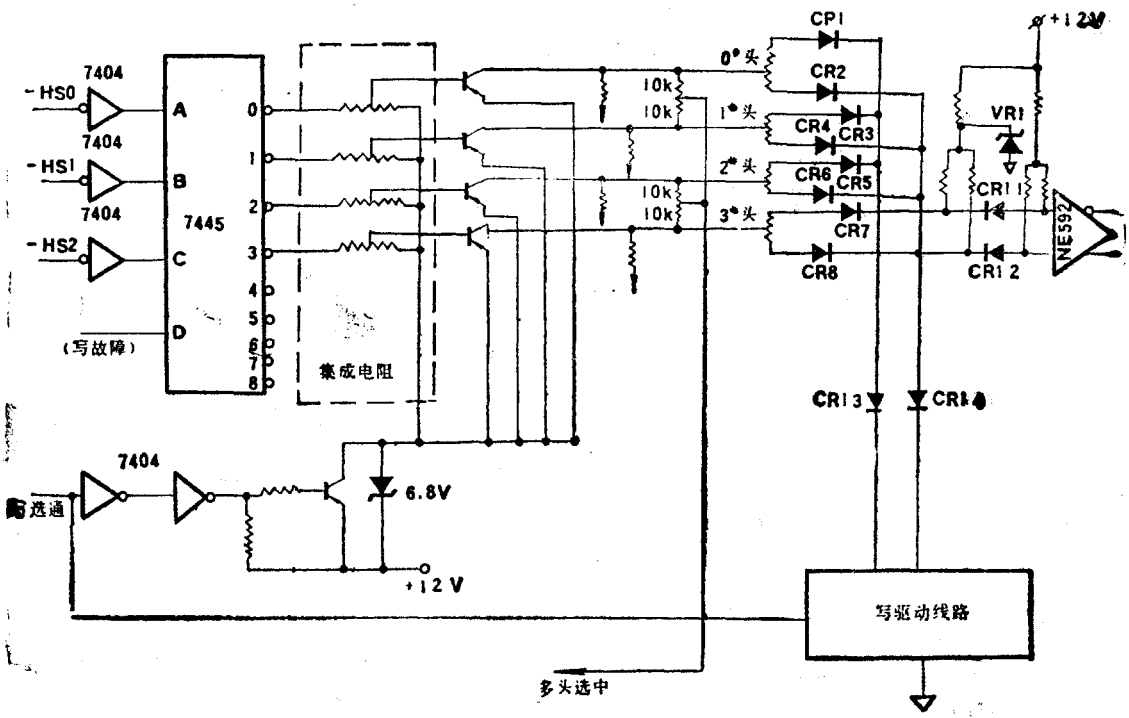


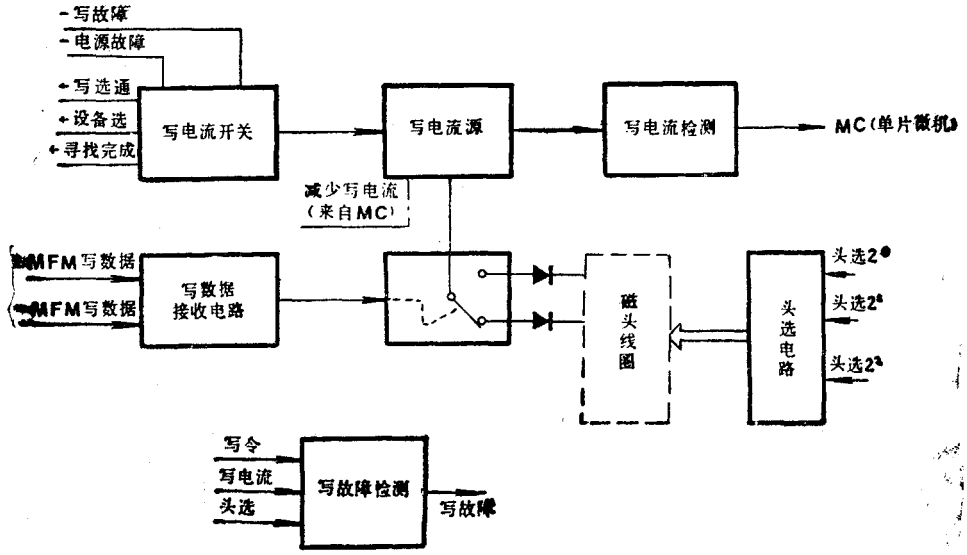
图9-12　ST412硬盘机选头电路

2. 磁头选中时中心抽头接高电平的选头电路

图9-12中的选头控制电路，其原理和控制方式与图9-11类似，不同之点在于磁头未选中时，中心抽头接“地”；选中时接高电平，但读或写时所接的高电平值是不一样的。在读操作时，选中磁头的中心抽头的电平约为+5V，线圈中的感应电势传送到读出前置放大器，而写驱动器因无电流通路而截止。在写操作时，中心抽头接+12V，写驱动器的电流能流过磁头线圈，读/写转换二极管CR11与CR12截止，将写的数据信号与读出前置放大器隔离开。由于电路中采用的7445BCD电路是开路门输出，当有写故障时，7445的D端为高电平，7445的0～3端也为开路高电平。此时不论选头信号的状态如何，四只选头三极管全部截止，四只磁头的中心抽头接“地”，硬盘机既不能写也不能读。在正常情况下，根据选头信号的状态7445的0～3端必有一个为低电平，对应的选头三极管导通。电阻网络能起到限制基极电流的作用，使三极管不致过饱和。选头三极管导通时，将在中心抽头上施加+12V或+5V的高电平。

二、写入电路

写入电路的主要功能是根据硬盘控制器来的数据脉冲，产生一定大小和方向的写电流，使其流过选中磁头的线圈，在盘片上产生磁化翻转，达到将信息记录在盘片上的目的。在硬盘机中，为保证数据的正确写入，除了产生写电流的主驱动电路外，还设有写电流控制电路，写故障检测电路等。图9-13是写入电路的原理方框图。下面介绍几种5.25英寸硬盘机的写入电路。



注：“写电流开关”与“写电流源”之间的信号线为“写允许”。

图9-13 硬盘机写入电路的原理框图

1. Q540型硬盘机的写入电路

图9-14是Quantum公司的Q540型硬盘机的写入电路。由于其选头电路的特点是使选中磁头的中心抽头接“地”，因此写电流是由写电流驱动器流入磁头线圈的。现分别说明写入电路各部分的工作原理。

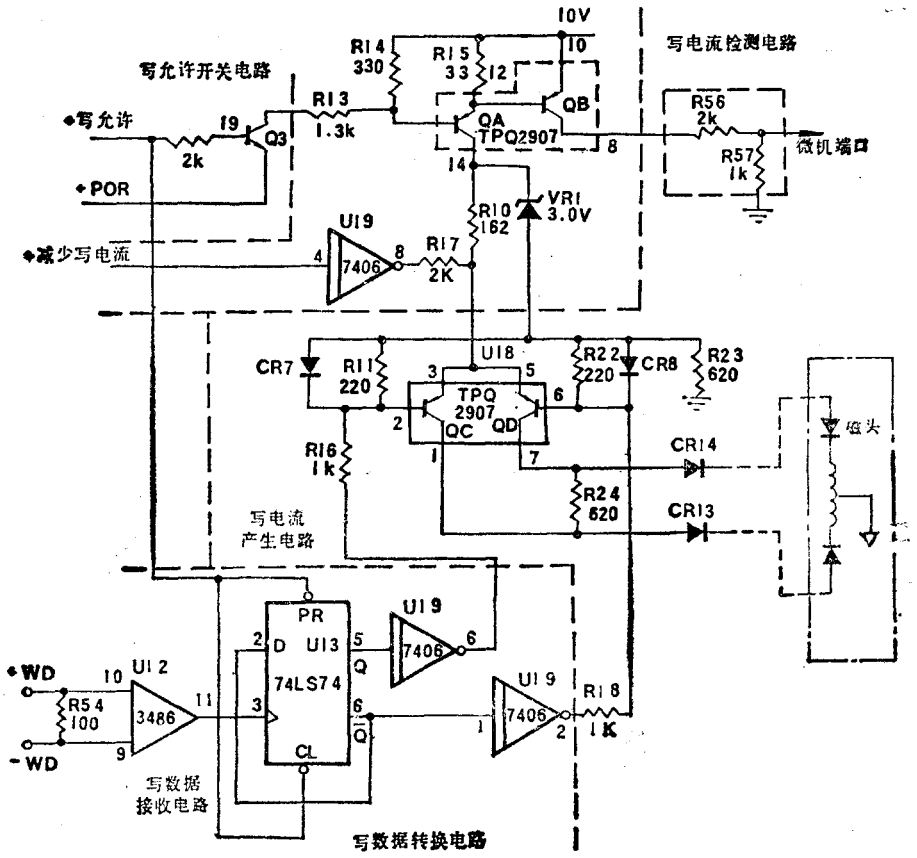


图9-14　Q540硬盘机写电路原理图

(1) 写数据转换电路　由硬盘控制器送来的写数据(WD)是双端差动形式的MFM制数据脉冲，经线接收器U12(3486)转换成单端输出的TTL脉冲，作为D触发器U13(74LS_74)的时钟信号。触发器的清零(CL)及预置端(PR)接“写允许”(WE)信号，只有硬盘机选中且已完成找道动作，“写选通”才会有效，此时“写允许”为高电平，转换写数据的D触发器才能正常工作。否则D触发器的Q和$\overline{Q}$端同时为高电平，外输入写数据不能使其翻转。由于D触发器接成二分频的工作方式，它能将MFM制数据脉冲变成MFM制的电平变化(见图 9-15)。D 触发器的Q与$\overline{Q}$端的MFM制数据电平信号，经开路门倒相器 U19(7406) 和限流电阻 R16、R18分别加到写驱动三极管 U18(TPQ2907)的Q_C和Q_D的基极。

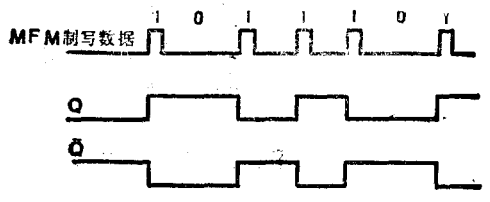


图9-15　写数据的翻转波形

(2) 写电流驱动电路　写电流驱动电路包括两部分，一部分是恒流源电路，另一部分是受写数据控制的开关转换电路。由图 9-14 可看出，当“写允许”为高电平，直流电源供电正常(+POR为低电平)时，三极管Q3导通，集电极电流流过R14和R13，使Q_A、Q_B导通，其中Q_A将向写驱动电路提供恒流源；Q_B送出“有写电流”的状态信

号到单片机，作故障检测用。当有数据进入时，根据 D 触发器的状态．三极管 Q_C，Q_D 将轮流导通。当D触发器的 Q端(U13的5脚)为高电平时(触发器为“1”态)，Q_C 导通，一定大小的写电流经隔离二极管 CR13 和选中磁头的一个线圈，通过中心抽头和选头电路到“地”。当 $\overline{Q}$端(U13的6脚)为高电平(触发器处于“0”态)，Q_D导通，电流流经选中磁头的另一绕组，在盘片磁层上产生相反方向的磁化。这种写驱动电路产生写电流的大小(单峰值)，根据恒流源电路的参数计算出约为：

$$I_W = \frac{V_C(Q_A) - V_E(Q_{C,D})}{R_{10}} = \frac{3}{162} = 18mA$$

为防止Q_C、Q_D注入太大的基极电流而过饱和导通，减少由导通到截止转化的退出时间，依靠稳压管VR1(+3V)和Q_C、Q_D的基极上的抗饱和二极管CR7和CR8，使Q_C，Q_D的基极电位箝位在+5.2V。

(3) 写电流调整电路　由于盘片上内外磁道的位记录密度不一样，愈到内磁道位密度愈高，相邻位之间的磁化翻转的互相影响及读出脉冲的位偏移也愈大。为减少高记录密度下的脉冲拥挤效应，在硬盘机中往往将盘片从外到里划分成若干区，各区域中的写电流大小按一定比例依次减小。但在同一区域中的所有磁道的写电流保持相同。这是一种克服脉冲拥挤效应，提高读/写可靠性较好的方法。在5.25英寸以下的小型硬盘机中，因盘片直径小，一般以磁道总数的一半作为分界线，将盘面划分为内、外两个区，在内区各磁道的写电流将比外区小20%左右。对于一些记录密度很高的硬盘机，也有采用多级写电流控制的例子。例如美国 CDC 公司的WREN9415型硬盘机，将写电流分成

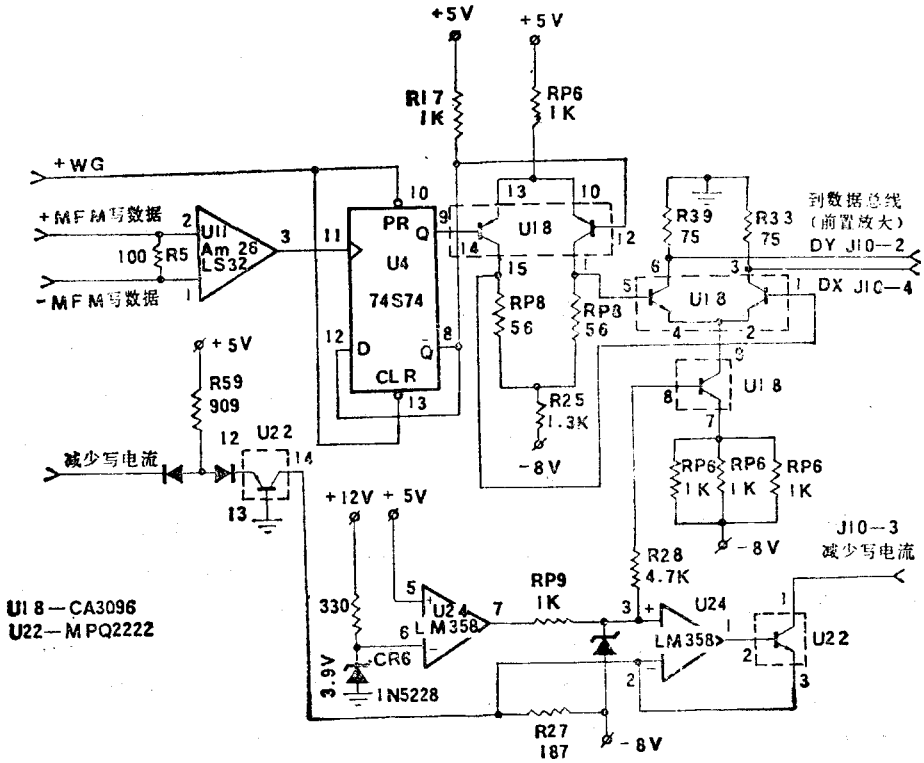


图9-16　Miniscribe公司的2012型硬盘机写入电路

8级，控制电路当然复杂多了。写电流的大小随采用的磁头类型及盘片的磁层材料不同而异，当采用锰锌铁氧体磁头和甩胶盘片时，外道的写电流(峰-峰值)约为45mA，里道为35mA。

硬盘机的找道是由单片机控制的，磁头所处的磁道位置信息存储在单片机中，因此减少写电流的控制信号能由单片机直接输出。图9-14中“减少写电流”(Reduce Write Current)的控制信号来自单片机的端口。当该信号有效时，倒相器 U19(7406)的8 脚为低电平，将对恒流源提供的写电流分流出一部分，分流的大小由电阻 R17决定。

2. 2012型硬盘机写入电路

2012型5.25英寸硬盘机是Miniscribe公司制造的产品，格式化 容量 为10MB。该硬盘机采用了SSI115型的读/写前置电路，将选头，读信号前置放大，写电流控制、读/写转换、故障检测等部分电路都集成在这块大规模集成电路中。与此相匹配的写入电路见图9-16。与图9-14中的 Q540型硬盘机的写入电路相比，写数据转换及写电流驱动部分都是类似的，不同的部分有三点：

(1) 当“写允许”有效时，写数据决定的写电流将通过数据总线Dx或Dy 传送到读/写前置电路。

(2) 提供写电流的恒流源只有在+5V供电正常时才能工作。

(3) 当来自单片机的“减少写电流”信号有效时，通过电压跟随器 U_{24}(LM358) 及三极管 U_{22} 产生减少写电流控制信号，并传送到读/写前置电路，对写电流作相应 的 调整。

3. ST412型硬盘机的写入电路

Seagate 公司生产的ST412型硬盘机虽是较早期的产品，但在许多微型计 算机中仍用它作外存装置。该产品采用了Seagate公司的专用读/写前置集成电路，将选头矩阵、读信号前置放大及写/读转换等三部分线路集成在一个器件里，安装 在 主电路板上，与之相匹配的写入电路如图 9-17 。当“写令”有效时，选 中 磁头的中心抽头的电平约为+10V，写电流由中心抽头流过线圈而灌入写电流驱动电路。由原 理图中看出，电路的基本组成与前面两种电路类似，也含有写数据转换、恒流源、写电流驱动、写电流控制等。所不同的是写故障检测电路比较齐全。写数据的转换及写电流的产生必须同时满足三个条件：

(1) “写允许”(WE)有效，即硬盘机准备好且有“写选通”(WG)信号；

(2) 直流电源供电正常，即“-DCUSF” (-DC Unsafe)”为高电平；

(3) 无“写故障”(Write Fault)信号。

在这种情况下，写数据转换触发器和产生写电流的恒流源才能正常工作。

ST412写故障检测电路的功能是保证写入电路能将数据正确地记录在盘面的某个区段，而不破坏其它区段的有用数据，对一些影响写数据的电路故障防患于未然。故障检测电路检测的写故障有两类：一类是同时选中两个或两个以上的磁头，通常称为多头选中；另一类是无写令而有写电流。很显然这两类故障都会破坏盘片上原有的有用数据。下面结合具体电路说明故障检测的原理。

根据图 9-17，来自选头矩阵 电路 表示 选中 磁头个 数 的 控 制 电压 加 于比 较器 U_3(LM339) 的 5，6 脚。当“写选通”(WG) 有效且只选中一只磁头时，比较器的输入

Retro Workshop
果粉工作室

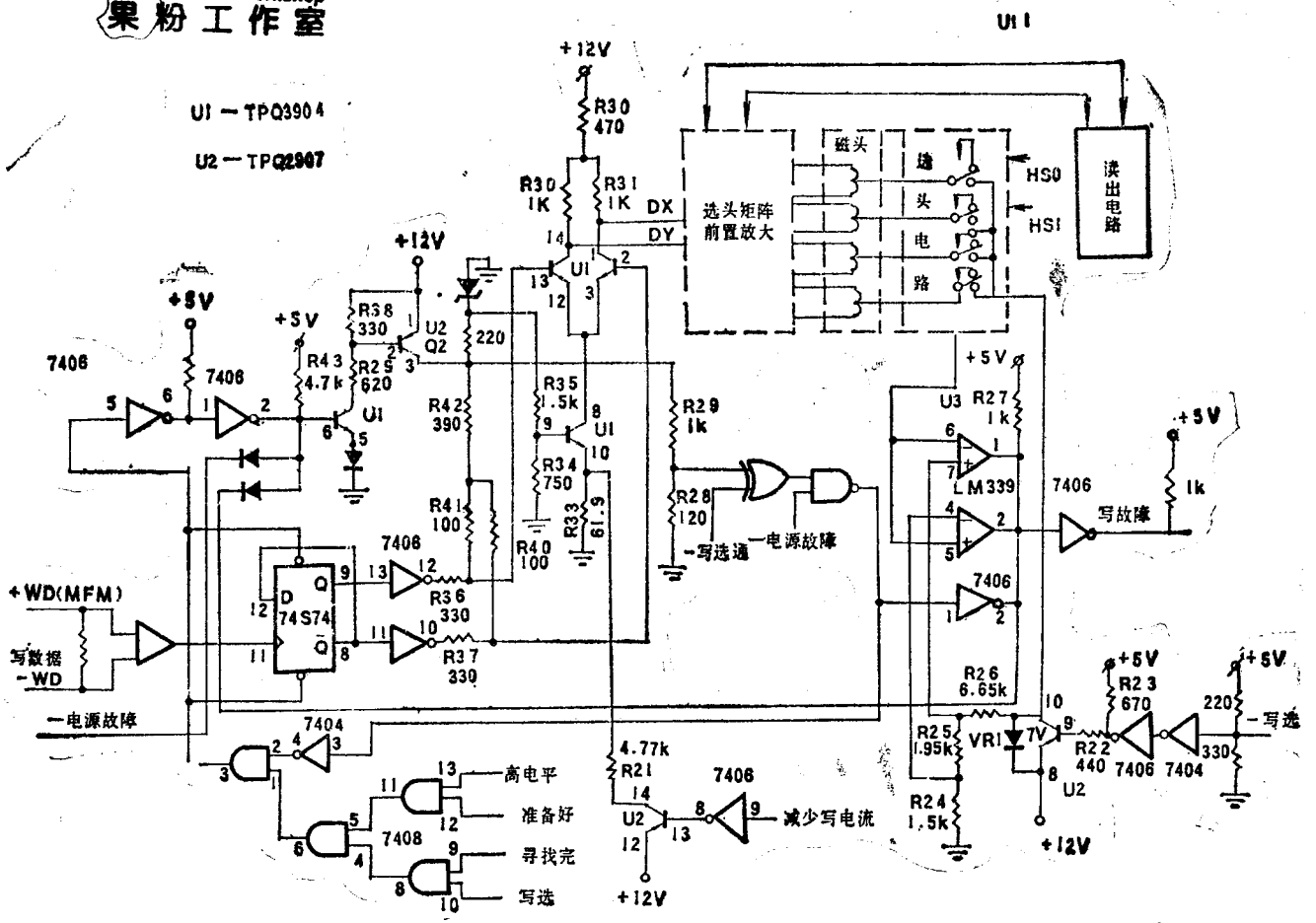


图9-17 ST412硬盘机写入电路原理图

电压约为3.27V，而加于比较器LM339第7脚的参考电压为6.24V，第4脚的电压为1.78V，因此LM339的1脚和2脚都为开路高电平，表示选头电路工作正常。当写时选中两个磁头时，表示磁头选中个数的电压为6.34V，比较器的1脚的输出将为低电平(低于0.4V)，表示选头电路有多头选中故障，将产生“写故障”信号并送到接口电路。若多头选中，在写时会破坏有用数据，在读时也会使读数据失常。所以选头故障检测电电路中采用两只电压比较器分别检测写和读时有无多头选中。当读时有多头选中时，比较器LM339的2脚将会输出低电平，也会产生“写故障”信号，送到接口电路，以便作故障处理。

“写选通”(WG)与写电流之间正常关系的检测由图9-17中的异或门等电路来完成。当无“WG”时，控制写电流恒流源的三极管Q_2应处于截止状态，异或门的两个输入端，一个为低电平，另一个为高电平，所以它们的输出为高电平。若有“WG”，Q_2正常导通产生写电流时，异或门的输出也为高电平。这两种情况都表示写电流驱动电路功能正常。如果因某种原因，虽“WG”为高电平，但Q_2不导通，恒流源不工作，没有写电流产生；或者虽无“WG”，但Q_2仍然错误地导通，使写驱动器产生写电流。这两种情况都会使异或门输出为低电平，表示写电路存在故障。前者是有写令无写电流；后者是无写令有写电流。由图9-17的电原理图可看出，多头选故障，直流电源供电不正常，写电流与“WG”配合不当等三类故障，经门电路相“或”后，最后形成总的“写故障”信号。一方面禁止写操作的进行，同时也通过接口电路传送到控制器，停止控制器与驱动器之间的信息传递。

三、读出电路

读出电路的功能是将磁头中感应的信号进行放大，通过鉴别电路和整形电路将记录在盘片上的信息，以数据脉冲的形式输出到磁盘控制器。因此读出电路的组成应包括前置放大器、主放大器、滤波电路、鉴别电路和脉冲整形电路。在一些高密度的硬盘机中还采用自动增益放大器(AGC)。读出电路的原理框图如图9-18所示。

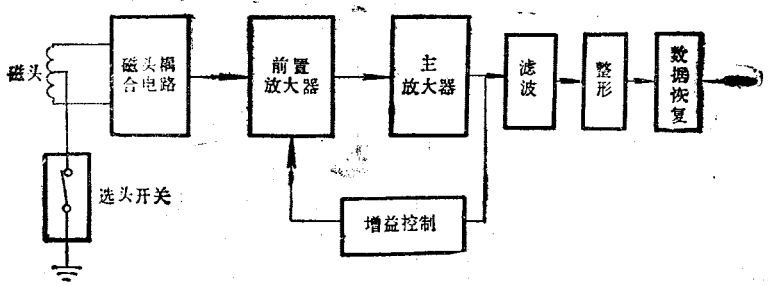


图9-18　硬盘机读出电路原理框图

前置放大器对磁头中感应出的信号，进行几乎无失真的放大，使其达到一定的输出幅度。为使读出信号不在前置级产生附加的峰值偏移，前置放大器应有足够的带宽，且具有十分高的共模抑制比(CMRR)。为适应上述要求，在硬盘机中最常用的前置放大器是型号为NE592的宽带放大器。也有些硬盘机(如Q540)采用低噪声、截止频率甚高的组合

三极管组成的差分电路，充当前置放大器。由于硬盘机的磁头中感应的信号十分微弱，(只有1mV左右)，为减小信号传输中外干扰的“窜入”，当前已大量采用将前置放大、选头电路、写电流控制电路集成在一个集成电路里的读/写前置集成电路，并将它安装在HDA之中与磁头相连的挠性电缆上，以提高读出信号的信噪比。

主放大器和滤波电路对读出信号进一步放大，并除去混杂在信号中的高频干扰，使输出电平能符合于鉴别电路正常工作的要求。滤波器的相位频率特性是线性的，这样对读出信号不会产生附加的相移。其幅频特性是锐截止的。鉴别电路的作用是检测读出的信号中有无数据脉冲存在。鉴别的方法随记录方式而异，虽然有幅度鉴别，峰值鉴别，过零交叉点鉴别等方法，但在5.25英寸硬盘机中，几乎无一例外地采用峰值鉴别法．因为这种方法既简单又可靠。

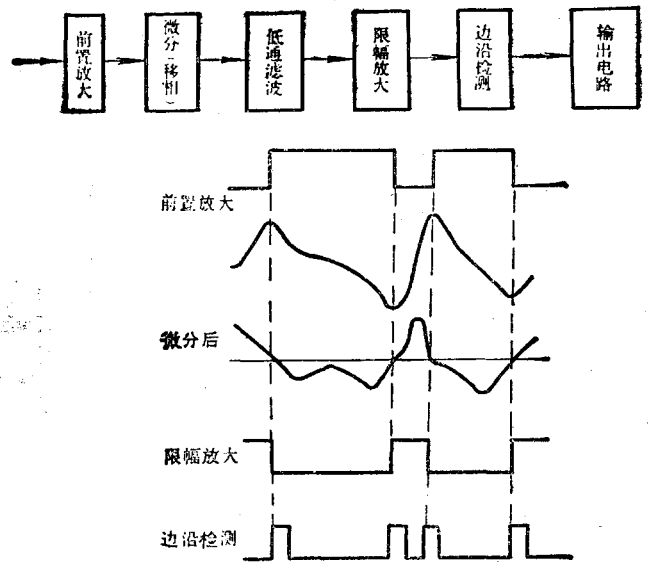


图9-19　峰值鉴别电路各点的波形

根据磁记录原理，读出信号的峰值对应于发生磁化翻转的地方，而磁化翻转处正是记录了数据信息，因此只要检测到信号的峰值点，就能恢复记录的信号。峰值鉴别法就是基于这样的原理。在读出信号的峰点处，信号变化的斜率等于零．若将读出信号进行微分，则微分电路的输出在读出信号的峰值处为零，利用过零检测线路，就可检测出峰点。图9-19是峰值检测读出电路的框图及各级的波形。图中的微分电路是采用宽带放大器(如NE592)的有源微分网络。它在有用的频带范围内，产生超前90°的相移。限幅放大器实际就是过零检测电路，常用电压比较器或双线入、双线出的方波成形电路(如MC10116等)。边沿检测电路的功用是在方波的上升沿与下降沿产生窄脉冲。常利用双向单稳触发器或用异或门完成这种功能。输出电路的功能，是将单端读数据脉冲变成差动输出的脉冲，以便向总线传递。常用的电路是线发送器/接收器如75116、75118、Am26LS31、MC3487等。峰值检测时，必须处理好斜率不为“0”但接近“0”的情况，消除微分后产生的“假过零点”引起的虚假脉冲。现在常采用的方法是时域滤波法，详细原理将结合具体电路介绍。

硬盘机采用的读出电路原理框图基本类似，只是所用器件稍有差别，现列出三种具有代表性的硬盘机的读出电路加以介绍，以便于读者进一步加深对读出电路原理的理解，并在维修时作为参考。

1．采用多级门电路的延迟作时域滤波的读出电路

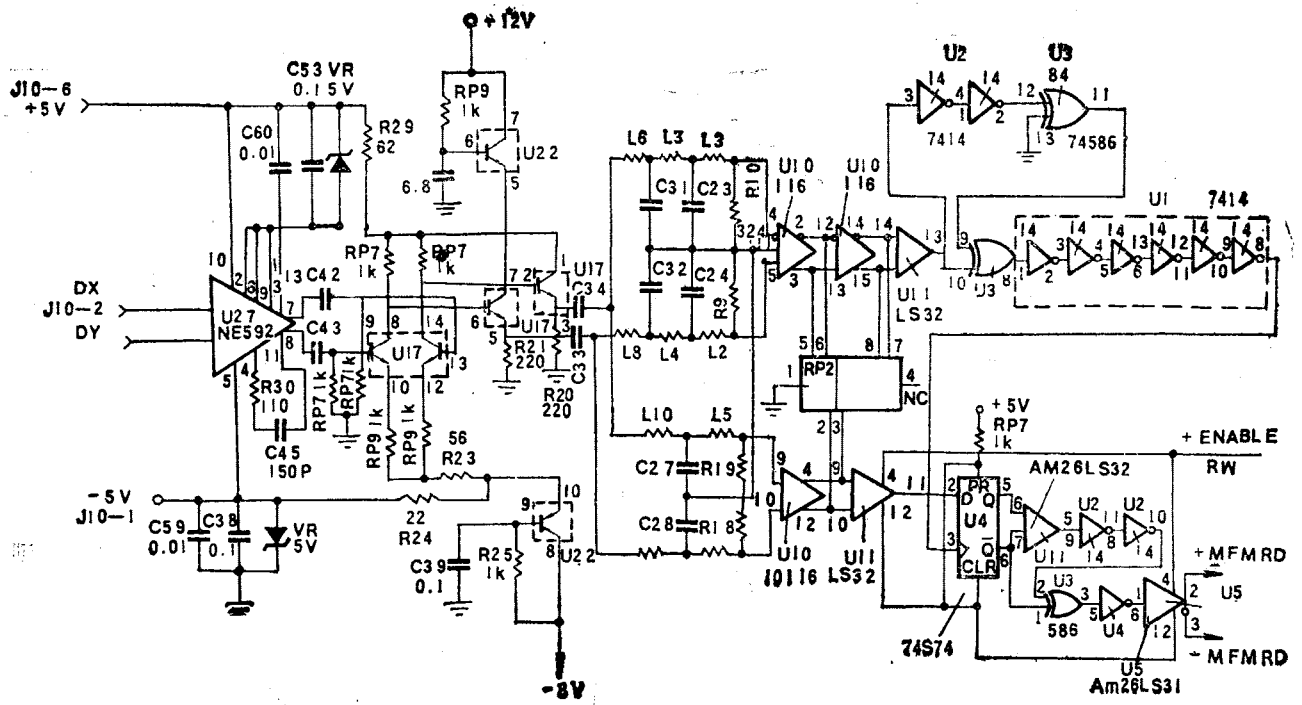


图9-20 Mniscribe 2012硬盘机的读信号处理电路

Miniscribe公司的2012型5.25英寸10MB硬盘机的读出电路如图9-20所示。这种硬盘机读出信号的前置放大器是SSI115型的专用于硬盘机的读/写集成电路，放在HDA之中。图9-20中的宽带放大器NE592(U_{27})作为微分电路产生90°的相移，相移的大小由电阻R_{30}和电容C_{45}的参数决定。由组合三极管U_{22}，U_{17}构成的差分放大器和射极输出器对微分后的信号作进一步的放大，并以很低的输出阻抗耦合到带通滤波器。

经微分放大后的信号分两路分别通过五阶的主带通滤波器和三阶的辅助滤波器，将读出信号中的高频干扰滤除后，加到限幅放大电路MC10116的输入端。MC10116是差动输入和差动输出的限幅放大电路，主通道的读出信号经两级MC10116放大限幅后，变成边沿十分陡峭的方波，再经双端变单端的线接收器$U_{11\sim13}$(Am26LS32)变换后，得到与磁化翻转对应的数据电平。主通道的数据电平经门电路U_2和U_3的三级延迟及异或门U_3的转换，在数据电平信号的每个边沿产生脉宽为数十ns的数据脉冲。再经U_1六级门的延迟后送到D触发器U_4(74S74)的CK端。由辅助通道滤波的信号经过与主通道类似的处理后产生与主通道波形一致的数据电平信号加到D触发器U_4的D端。因为由主通道来的数据窄脉冲要比数据电平信号的边沿延迟近100ns左右，所以D触发器能根据读出信号的变化产生正确的翻转。D触发器的输出经U_{11}变成单端输出的信号，经一定的延迟及异或处理后产生对应于磁化翻转的数据窄脉冲，由线发送器U_5转换成差动形式的MFM制数据脉冲。各级波形见图9-21。

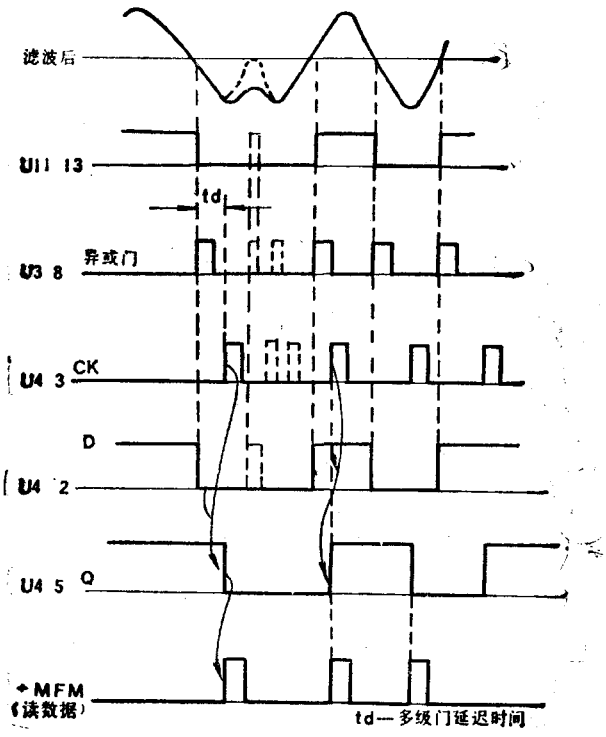


图9-21 读电路各级波形图

下面介绍一下该电路是如何摒除因读出信号中，磁化翻转间隔较长引起的虚假数据脉冲。当磁化翻转间隔较大时，读出信号中有一部分的斜率近似为“0”，微分后波形下陷，将有虚假的过零点，限幅放大后在数据电平信号中混有窄的脉冲(见图9-21)。这并不代表真正的磁化翻转，若不去掉，将引起读出数据的错误。在图9-20所示的电路中，主通道输出的数据窄脉冲中若含有虚假过零点形成的假脉冲，经六级门传送后，使其比数据电平的变化，延迟100ns左右(见图9-21)。这样，尽管在D触发器的数据输入端的数据电平中含有虚假过零点引起的窄脉冲，但对应的时钟输入端的脉冲上升沿是在假零点引起的窄脉冲之后，因此触发器仍保持原态而不发生翻转，这样就消除了这种假过零点产生的干扰脉冲。上述电路的功能通常称为时域滤波，在温式磁盘机中得到广泛的应用。

2. RO200系列硬盘机的读出电路

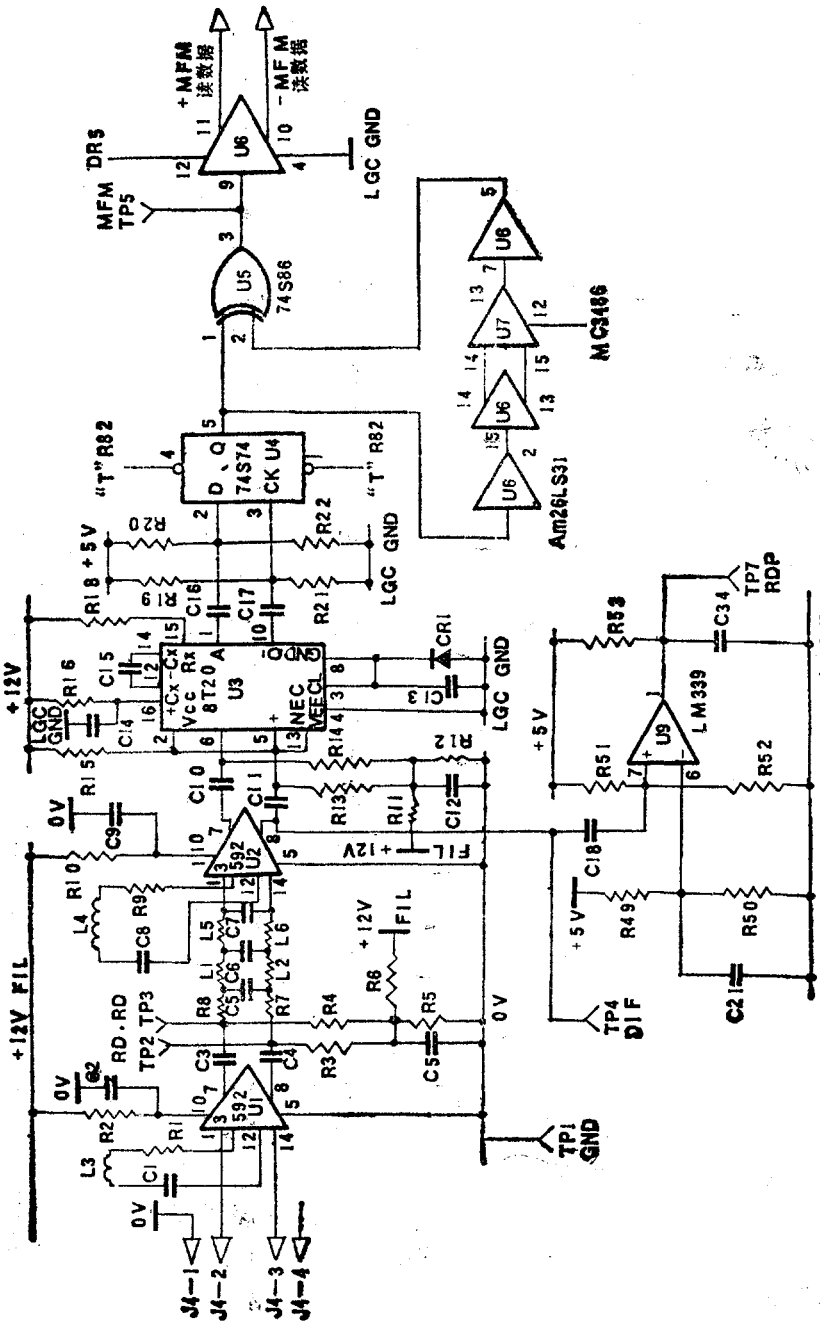


图9-22 Rodime 200系列硬盘机读电路

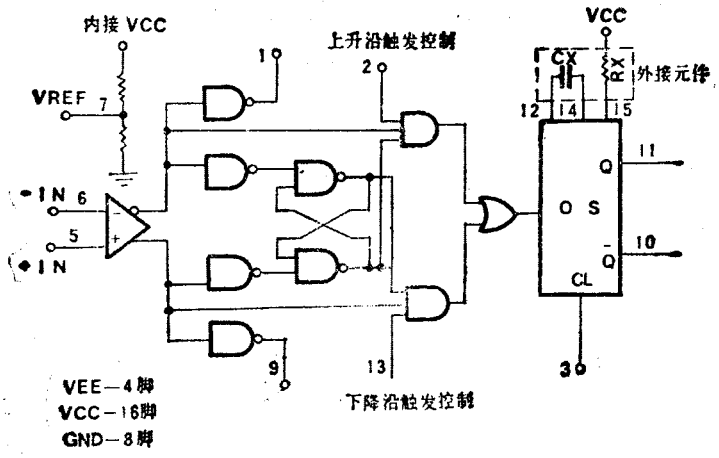


图9-23 8T20双向触发单稳逻辑框图

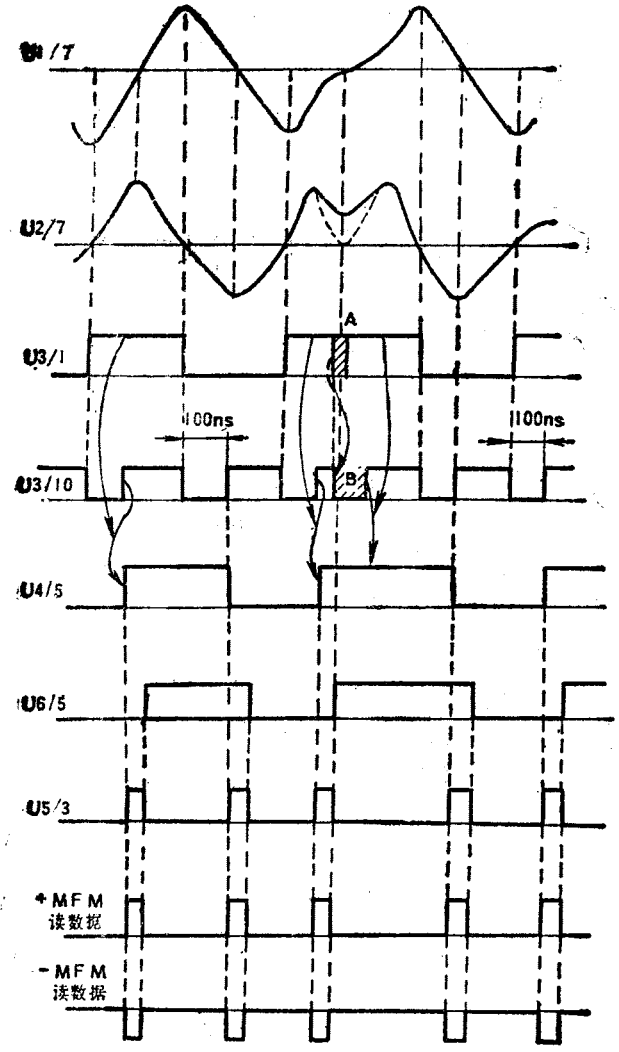


图9-24 Rodime 200型硬盘机读出电路的波形

RO200系列的硬盘机是Rodime公司的产品。该系列的硬盘机对读出信号先作前置放大、然后再由主电路板上的读出电路作进一步的放大与峰值检测，产生出MFM制的数据脉冲，原理电路见图9-22。由图中可看出，信号放大，微分及滤波与其它类型的硬盘机是相似的。所不同的是采用8T20集成电路，作限幅放大及边沿检测，既给出数据电平信号，也给出对应于电平变化边沿的窄脉冲。图10-23是该集成电路的内部框图。该器件的第一级是电压比较器，第二级是双向单稳触发器，其$\overline{Q}$端(10脚)输出的窄脉冲，取决于外接电容Cx(图10-22为C_{15})和外接电阻Rx(图10-22为R_{18})。当8T20(U_3)的输入信号为正时，1脚的输出为高电平；输入为负时输出为低电平。对应输入信号的每个过零点，在10脚会输出宽度为100ns的负向窄脉冲(由C_{15}和R_{18}决定的)。电路设计者巧妙地利用了8T20的这一特性，将1脚输出的数据电平加到D触发器

U_4的D端，而将10脚的负脉冲作为D触发器的打入脉冲，即可实现时域滤波的功能，消除虚假过零点产生的干扰脉冲。由图9-24中的各级波形转换的关系可看出，只要虚假过零点产生的脉冲宽度(图中的A)不超过100ns，虽然它的上升沿也会在U_3(8T20)的A脚上产生一个宽为100ns的负脉冲(图中的B)，但该脉冲中的上升沿已超出A脉冲的范围，因此虚假脉冲A不会影响D触发器的状态。D触发器的输出是代表读出数据的电平，经门电路的延迟及异或门的处理，形成数据窄脉冲，通过线驱动器U6(Am26LS31)的转换，变为差动方式的MFM制读出数据脉冲，送往磁盘控制器。

3．Q540硬盘机的读出电路

Quantum公司制造的Q540型的硬盘机在ALTOS及68000等高档微型计算机中用得较多。它的读出电路的设计有些独创之处。图9-25是它的原理图。

当“+写选通”(WG)为低电平，表示执行读数据操作。隔离二极管CR1，CR2正向偏置，选中磁头的感应信号，以差分方式式耦合到低噪音高截止频率的三极管Q_1和Q的基极。组合三极管U_{17}(型号为3046)的三只晶体管构成恒流源，使Q_1和Q_2以一定偏置而导通。U_{17}的另两只晶体管分别耦合到Q_1和Q_2的集电极，构成差动式的Cascode放大

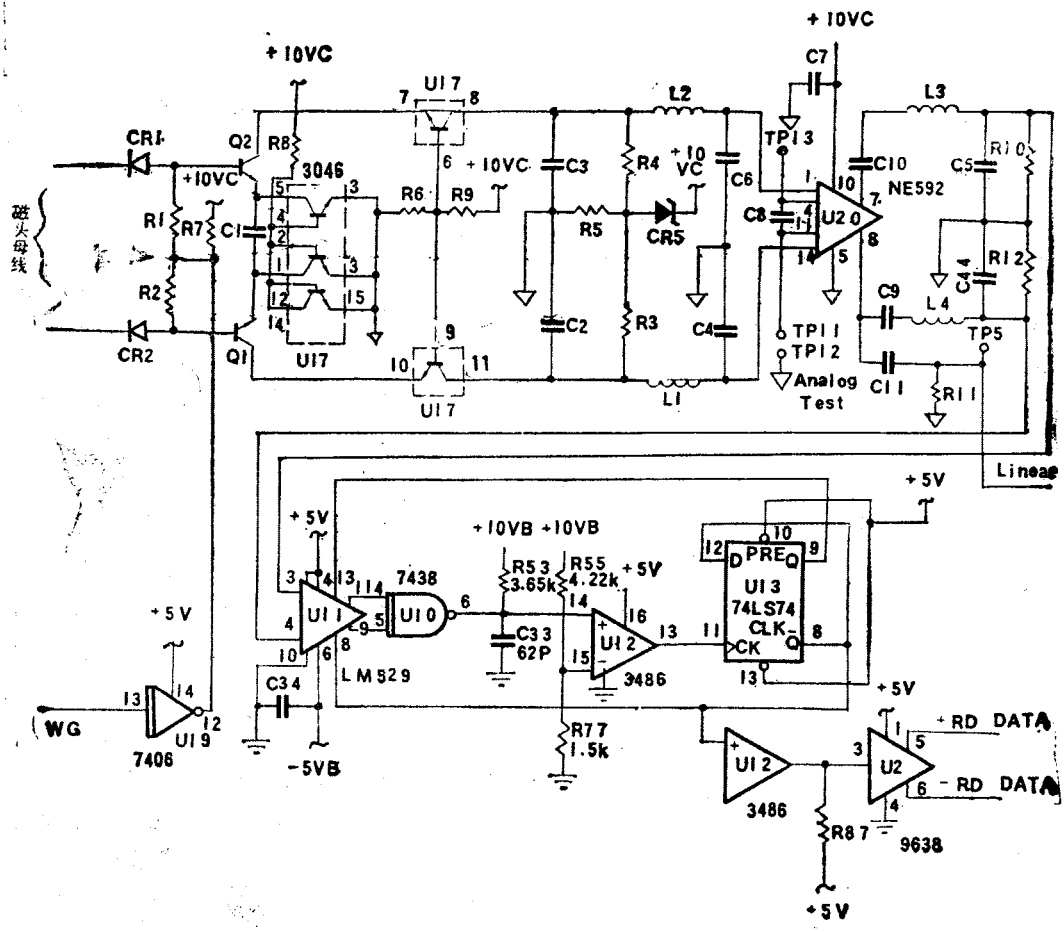


图9-25 Q540硬盘机读出电路原理图

器，对小信号提供大约100倍的电流增益。

经前置放大的读出信号，作第一级滤波后馈入到宽带放大器NE592，一方面对输入信号进行微分，（微分作用的强弱取决于电容C8）将对应于磁通翻转的峰值点转换为过零交叉点；另一方面提供约 400 倍的电压增益。微分后的信号经耦合电容 C9、C10 隔离直流分量再次作低通滤波，加于电压比较器LM529(或LM361)的输入端。LM529的内部框图如图9-26所示。第一级为过零检测电路；第二级为与非门电路。

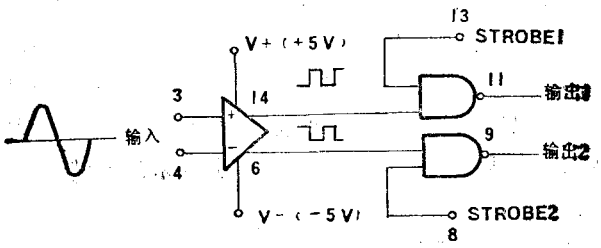


图9-26 LM529电压比较器的逻辑图

LM529的输出不仅取决于输入信号，还与选通电平 的状态关。在选通（STROBE）信号均为高电平时，当输入信号大于零时，11脚输出低电平，9 脚输出高电平。反之，11 脚输出高电平，9脚输出低电平。若选通电平发生变化时，LM529的输出电平将由输入和选通电平的状态共同决定。

LM529的两个输出作为集电极开路与非门U10(7438)的两个输入。只要其中之一为低电平，则U10输出按指数规律上升，其时间常数由电容C33和电阻R53决定。当U10的输出超过电压比较器U12(3486)设置的门槛电压2.62V时，在U12的输出端产生一个正的电平跳变，使触发器U13(74LS74)发生一次翻转。D触发器的状态变化改变了加到比较器的选通电平状态，使其两个输出都转为高电平。因此与非门U10的6脚立刻转为低电平，这样就会在U13的8脚产生出一定宽度的数据窄脉冲。数据脉冲的宽度取决于电压比较器U12的输入电压(也就是与非门U10的6脚输出电压)高于门槛电平的持续时间，而这又取决于D触发器状态翻转的时间和“与非”门电路传输时间及电容C33的放电时间常数等因素。根据现有电路参数及选用的器件，读数据脉冲的宽度约为50ns左右。读数据脉冲最后由线发送器 U2(9638) 变成差动形式送往控制器。

当读出信号经微分后有虚假过零点出现时，虽然也会在电压比较器的输出端形成负向脉冲(图 10-27 中的虚线)，但这种波形下陷，引起的虚假脉冲都很窄，使与非门U10的6脚的电压很难升高到门槛电压之上，因此这种虚假窄脉冲将被滤除，而不会混入到最后的数据脉冲中去。详见图9-27中的时序图。

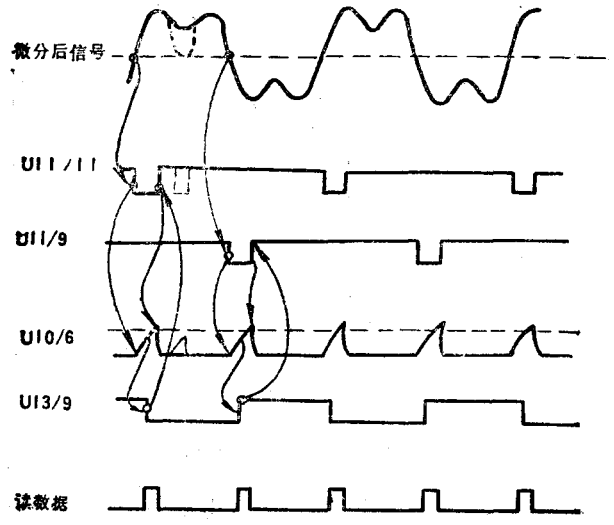


图9-27 Q540硬盘机读出电路各级波形

四、大规模读/写电路芯片简介

由于大规模集成电路技术的飞跃发展，硬盘机的许多电路已有可能集成在一个集成电路里。这样可在有限体积中，省出更多的地方增装盘片，提高单台硬盘机的存储容量。这些专为硬盘机发展起来的大规模集成电路，除了前文已介绍过的通用单片机之外，在5.25英寸硬盘机的读/写系统中，也较普遍地使用两种类型的大规模电路芯片：一是将选头矩阵电路、读出前置放大器、读/写转换电路、写故障检测电路和写电流控制等部分，集成在一起的硬盘机专用读/写集成电路。这些读/写电路的型号有SSI114，SSI115P/C。SSI117P/L，SSI801等。图9-28是SSI115P的内部框图和外接信号。其他型号硬盘机专用读/写前置放大电路与此类似。这种电路一般都安装在HDA中，甚至安装在HDA中连接磁头的挠性电缆上，以尽可能地靠近磁头，减少外来的干扰的影响。

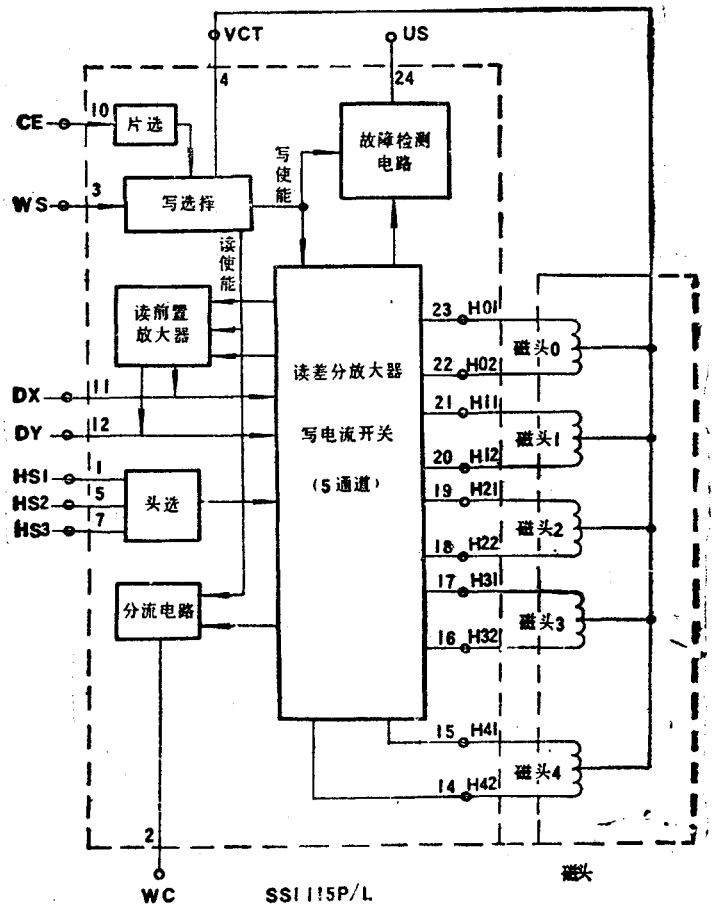


图9-28 SSI115P/L硬盘机读/写前置电路框图

硬盘机读/写电路中，除选头及读出前置放大电路外，写电流驱动、读出信号的峰值检测和数据脉冲的恢复等部分电路也已作为专用的集成电路，用于批量生产的硬盘机中。这类电路大部分具有某个生产厂的专有特色，目前尚处于专用集成电路阶段，不象

前置放大集成电路那样，能作为普通商品可直接向 IC 制造商购买，而必须作为 备件向某个硬盘机制造厂订购。

由于硬盘机读/写大规模集成电路的出现，构成硬盘机读/写电路的方式，除了上述已介绍过的利用小规模集成电路及分离元件组成的电路之外，还有另外两种方式：

(1) 选头电路及读出信号的前置放大，写故障的检测等，用诸如 SSI115/117之类的一片硬盘机读/写前置专用集成电路代替，而写电流驱动，读出信号的处理 仍 依靠分离电路，如当前国内微机系统中较多采用的 Miniscribe 公司的 2012，Microscience公司的HH725，Saegate公司的 ST412，ST225 等 5.25 英寸硬盘机的读/写电路 都属这种类型。

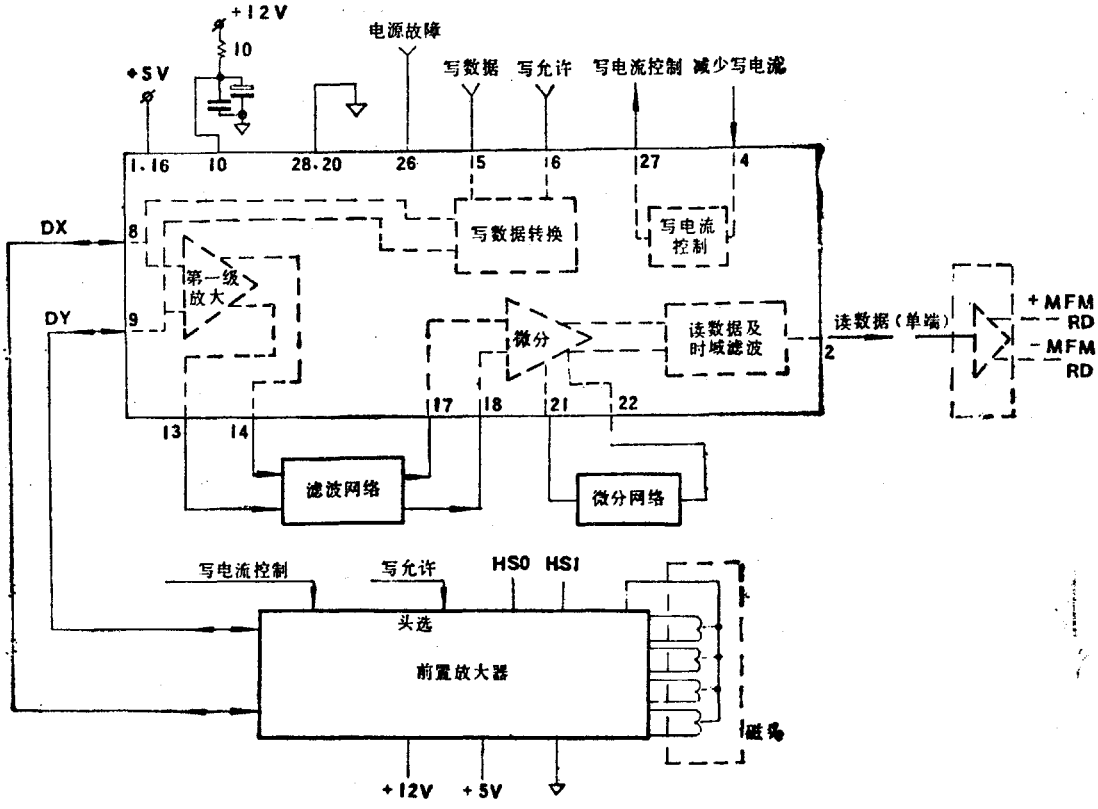


图9-29 SA712硬盘机读/写专用集成电路内部框图

(2) 整个读/写电路用两只大规模集成电路及极少的其他电路元件组成。前置电路用 SSI115、SSI117等硬盘机读/写通用电路，写电流的产生与读出信号的处理，用专用集成电路。当前国内微型计算机中使用 的Shugart公司的 SA712，CDC公司的94155(W-REN Ⅱ)，Micropolis公司的 2314等硬盘机的读/写电路，采用了这种类型的电路方式。图 9-29 是SA712硬盘机的读/写电路框图。

第三节 主轴转速控制电路

前面已经叙述过，在盘片上记录数据时，要将每条磁道划分为若干区段，段与段之

间首尾相接。为避免相邻段之间的数据重叠或脱节，需在相邻段之间设缓冲区，缓冲区的长短取决于盘片转速的变化量。盘片转速精度愈高，缓冲区愈可相应地减小，以提高数据记录的有效长度。反之，盘片转速变化愈大，缓冲区的长度要设置得长一些，数据的有效记录长度当然就会减少。对于转速为3600转/分的硬盘机，数据传转率为5Mb/s，如转速误差为±1%，则每道的缓冲区长度至少应为333μs，这样每道就要损失1667位的容量。因此提高转速的控制精度显得十分重要。在5.25英寸硬盘机中，盘片是直接安装在无刷直流电机的枢轴上的，为获得很高的转速控制精度，都采用了闭环控制系统，图9-30是转速控制的原理框图。

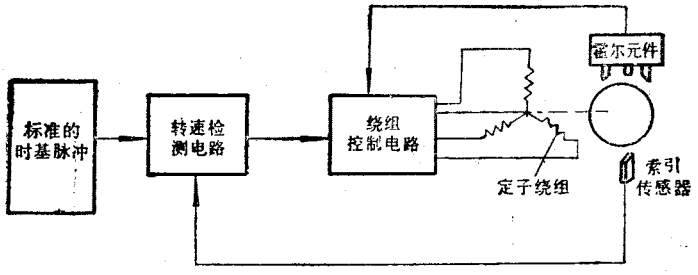


图9-30　硬盘机转速稳定系统框图

由图中可以看出，硬盘机的盘片转速控制系统，实际是转速稳定系统，即根据额定转速的变化量进行闭环调整，使盘片转速保持恒定。来自索引传感器的转速脉冲周期与转速成反比，即转速愈高，转速脉冲之间的间隔愈短，反之，则间隔愈长。因此可用晶体振荡器或单片机的标准时基脉冲来测量转速脉冲的间隔，确定转速是否为额定值。当转速偏离额定值时，转速检测电路将输出与转速偏差成正比的调宽脉冲，并根据无刷直流电机中霍尔元件的输出，给电机相应的绕组供电，供电时间的长短与转速偏差脉冲的宽度成比例，这样就能使盘片转速保持很高的稳定精度，满足数据记录的要求。

一、索引信号的产生

索引传感器输出的转速脉冲(也叫索引信号)是转速稳定系统中的反馈信号，对系统的正常工作是至关重要的。在硬盘机的单片机的检测程序中，从加电到正常运转，一直在对转速进行监控。影响转速的因素固然很多，但首要的应是索引传感器。如索引传感器的输出消失或信号的质量不好，都会使转速失控和硬盘机功能失效。

硬盘机中，采用的索引传感器有磁阻式、光电式、霍尔元件式三大类。前一种安装在无刷直流电机之外；后二种安装在电机内部。下面简要介绍各类传感器的原理。

1. 磁阻式索引传感器

磁阻式索引传感器由永久磁铁，带铁芯的线圈组成，封装在不锈钢外壳里，并安装在HDA的底座上，传感器的敏感铁芯对准着电机的中心。为改变磁阻，采用了两种方式。第一种是在电机外转子上，固定有一个软磁材料制成的窄铁片，作为磁路耦合用。铁片与传感器铁芯间的距离保持在0.4mm左右(如图9-31)。当主轴电机旋转时，因主轴电机外转子与传感器敏感铁芯间的距离较大，磁阻也很大，线圈中无感应信号产生。当

耦合铁片经过传感器敏感铁芯位置时，磁阻突然减小，与线圈交链的磁通发生变化，线

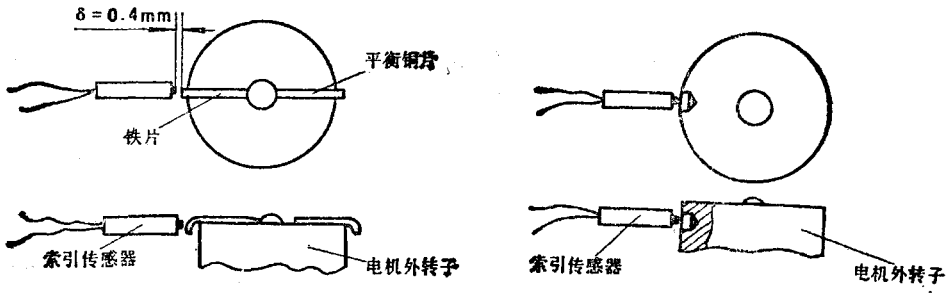


图9-31　磁阻式索引传感器示意图

圈两端感应出脉冲信号。为保持电机高速旋转时具有良好的动平衡性能，在耦合铁片的对称位置上装有一片铜片。改变磁阻的另一种方式是：在电机外转子的外壁上，开有一个深约 3～5mm 的小孔(孔径为 4～5mm)，当小孔的位置经过传感器的敏感铁芯时，磁阻突然增大，传感器绕组中的磁通突然减少，线圈二端同样也会感应出电压信号。

磁阻式索引传感器的输出是如图9-32的模拟信号，需作整形处理变成 TTL 脉冲，作为转速比较和读/写用。在有些厂家的硬盘机中，(如 Seagate 公司的ST412)，磁阻式索引传感器中除电磁线圈组件外，还含有微型放大电路，这样传感器的输出将是数字电路直接可以采用的 TTL 脉冲。

2. 光电式索引传感器

用于硬盘机中的光电式索引传感器有两

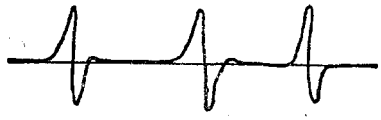


图9-32　索引传感器输出信号

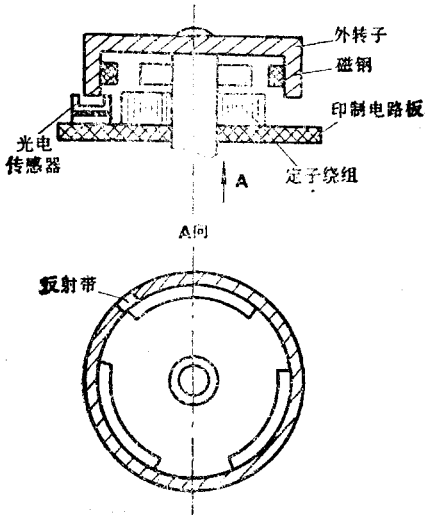


图9-33　反射式光电索引传感器示意图

种：一是直射式；另一种是反射式。光电式传感器由发光二极管和感光管组成。发光管通常由 +5V 供电，发出红外光线。当感光管接收到发光管发出的光线时，产生光电流，放大整形后就可以作为索引信号。直射式光电传感器的发光与感光管置于电机外转子壁的两侧，转子壁上开有窄的槽口。电机旋转时只有槽口部分经过光电管时，感光部分才能接收到发光管发出的红外光，产生出窄的光电脉冲。反射式光电传感器也有发光与感光二部分，但这两部分集成在同一基片上。感光部分不能直接敏感发光管发出的红外光，当外来物将发光管发出的光反射到感光部分时才产生光电流。在无刷直流电机中，反射式光电传感器固定在电机的电路板上，敏感部分位于电机转子外罩端面的下方(如图

9-33)。由于转子的不锈钢外罩端面的绝大部分涂有对红外线吸收率甚强的黑色涂料，只留下一窄条空白，用作反射光线用。当空白部分正好转到光电传感器的位置时，发光管发出的红外线将被反射到感光管，产生脉冲式光电流。

光电式传感器产生的脉冲光电流比较微弱，一般不超过100μA，在送到硬盘机主电路板之前，要先进行放大与整形，变为TTL索引脉冲，再送往转速控制系统和硬盘机的接口电路。放大和整形的集成电路与换向用的霍尔元件同装在无刷直流电机内部的小电路板上。

3．霍尔元件索引传感器

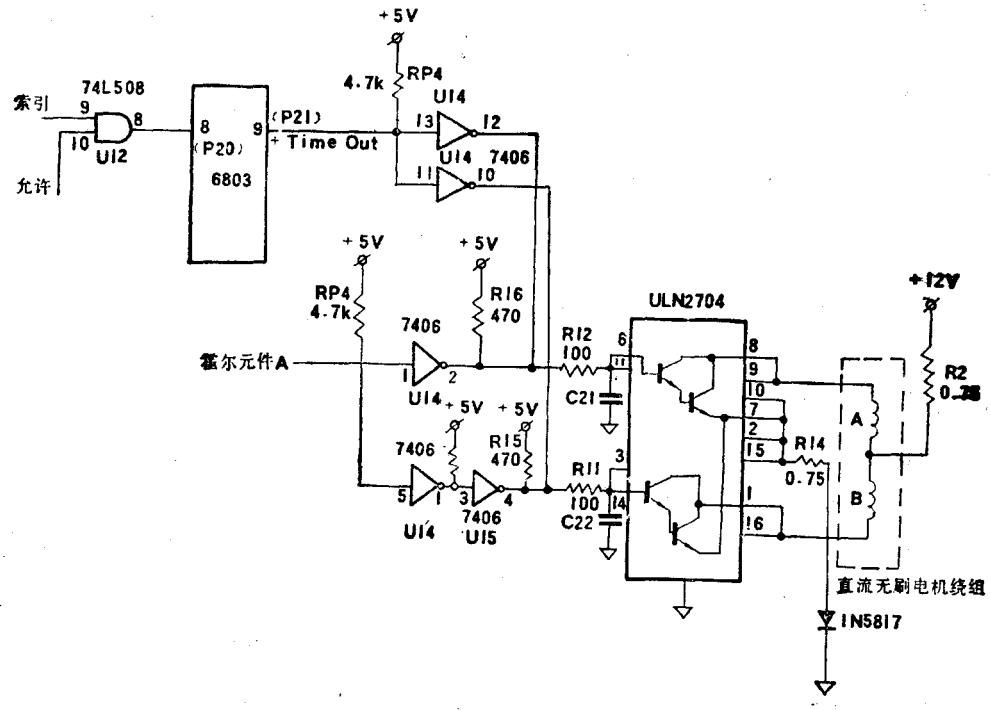
在无刷直流电机中用于换向控制用的霍尔(Hall)元件至少有两个以上，取其中的一只霍尔元件的输出，经适当的分频处理后也可以作为索引信号。对霍尔元件的原理已作过介绍此处不再赘述。

二、转速控制电路原理

转速控制电路按其原理应包括脉冲周期检测电路和无刷直流电机驱动控制电路两大部分。脉冲周期既可用单片机检测，也能用中小规模集成电路组成的比较电路检测。电机驱动控制电路由换向控制与功率驱动两部分构成。下面通过实例来说明小型硬盘机中各类转速控制电路的工作原理。

1．利用单片机对转速的控制

图9-34是Miniscribe公司的2012型硬盘机（10MB）的转速控制原理图。由反射式光电索引传感器来的信号，在单片机自检结束后，通过门电路U12输入到单片机6803的端



注：ULN2704电路缩号为U9

图9-34 Miniscribe 2012硬盘机主轴稳速电路

口2，经单片机内部的计时，由端口送出表示转速低于额定值的“+Time Out”控制脉冲。脉冲的宽度愈宽，则表示转速偏低于额定值愈多。由于2012型硬盘机中的主轴电机是两相的无刷直流电机，内部有两只霍尔元件，可提供换向控制信号。但换向控制电路只利用了一只霍尔元件的输出，配以倒向器(7406)，也能达到两个控制绕组轮流加电的目的。图中的U_9(ULN2704)是组合式达林顿三极管，其中6和11及3和14脚相当于达林顿三极管的基极，而8和9及1和16脚相当于集电极，10和7及2和15为发射极，R_2为限流电阻，电容C_{21}，C_{22}为积分滤波电容。

当主轴电机的转速低于额定值时，“+Time Out”为一列低电平脉冲，在霍尔A信号为高电平的期间，B绕组加电；而在“霍尔”A信号为低电平的期间，电机的A绕组加电。加电的时间由“+Time Out”信号的脉冲宽度决定。此时转速将迅速增高。当转速高于额值时，“+Time Out”信号为高电平，经倒相后，使组合达林顿三极管因基极电位近似为零而截止。此时，不管霍尔A信号为什么值，电机的两个绕组均不加电，而处于自由旋转状态，使转速慢慢下降。由上述分析可知，转速将围绕着额定值作小范围的上、下波动，其波动量不应超过规定的数值。

图9-35是Shugart公司的SA712型半高硬盘机的转速控制电路。SA712硬盘机中使用的主轴电机是具有三相星形连接绕组的霍尔无刷直流电机。索引传感器为直射式的光电传感器。它与换向用的三只霍尔元件装在电机内部的同一块小电路板上。霍尔元件及

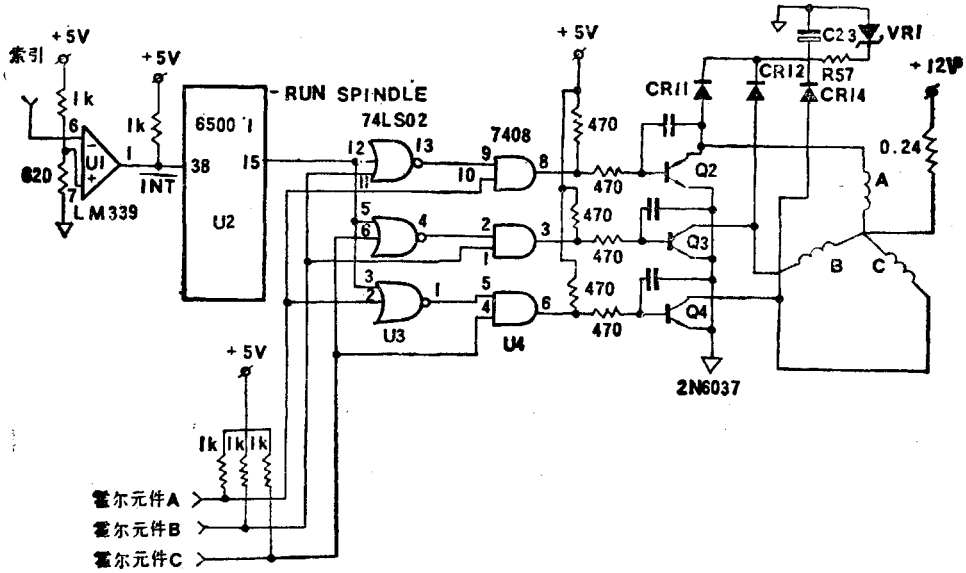


图9-35 SA712硬盘机主轴稳速电路

光电信号均已作过放大与整形处理，从集电极开路门输出TTL电平信号。索引脉冲经LM339电压比较器进一步整形后，送到单片机6500/1的$\overline{INT}$端，用固化的程序，测试索引脉冲的周期。其测试结果由15脚以“-RUN Spindle”信号送到绕组驱动控制电路。

当主轴电机的转速低于额定值时，“-RUN Spindle”为低电平脉冲，使或非门U_3(74LS02)开放，在图9-36的a区内，达林顿管Q_2(2N6037)导通，绕组A供电；在b

区，Q_3导通，绕组B供电；在C区内Q_4导通，绕组C供电。各绕组供电时间的长短，取决于“－RUN Spindle”脉冲的宽度。当电机转速高于额定转速时，“－RUN Spindle”为高电平，与非门U_3闭锁，不管三只霍尔元件输出状态如何，三个绕组都处于断电状态，电机将自由运转而减速。主轴电机转速的快慢，由单片机不断地进行检测，检测的结果以调宽脉冲的形式确定绕组的通电时间，达到闭环控制的目的。

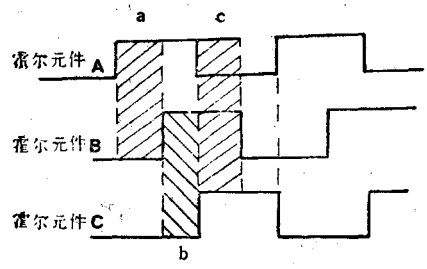


图9-36　绕组供电与霍尔信号的关系

图9-35中的CR11、CR12、CR14、电容

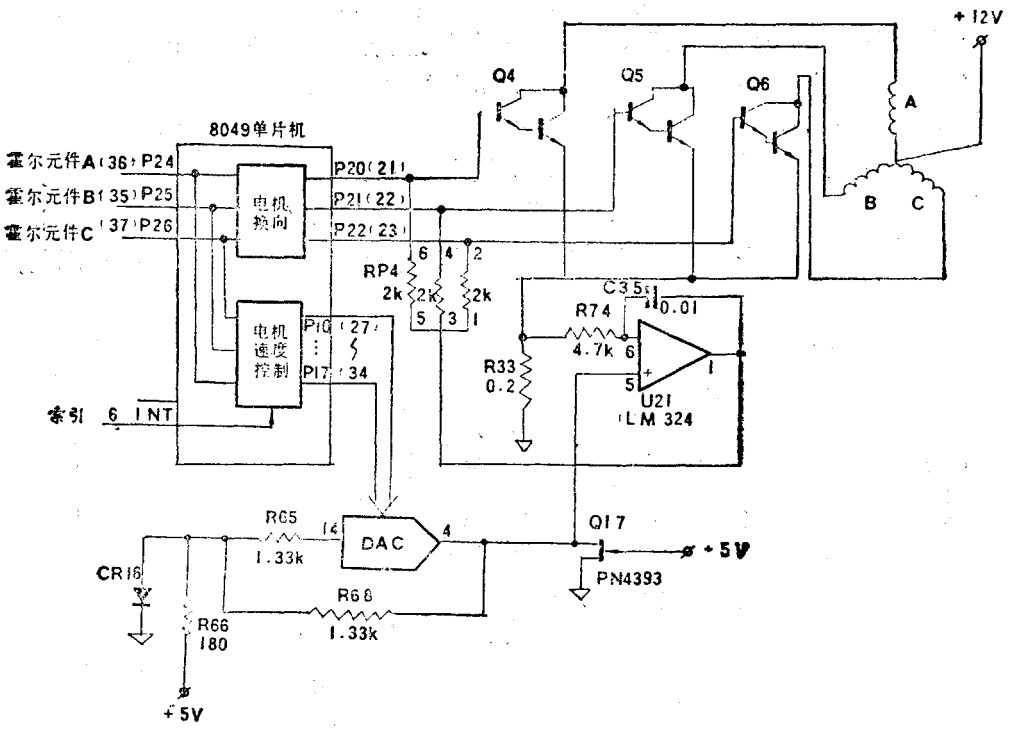


图9-37　Q540硬盘转速控制电路

C23、电阻R57和稳压三极管VR1，用来消除主轴电机绕组在断电时，产生的反电势对外电路的影响。

下面再介绍一种用单片机对转速实施闭环控制的方案。图9-37是Quantum公司Q540型(用于ALTOS微型计算机系统中)硬盘机的转速控制原理图。

主轴电机的三只霍尔元件的输出，通过端口输入到8049单片机。单片机利用标准时钟作基准，对三个霍尔信号作处理，产生控制电机绕组的换向信号，并由端口输出。换向信号的波形见图9-38。

索引脉冲及三相霍尔信号同时送入到单片机，作为主轴电机转速控制部份的输入信号。在启动期间，单片机检查霍尔信号有无改变状态。若无，则执行主轴电机启动程序，根据霍尔元件的输出，使电机相应的绕组通以较大的电流，使电机启动。电机转动

后，霍尔元件的输出将不断改变状态，单片机既给出正常的换向信号，也通过端口1送出转速误差信号，使电机加速到规定的转速。在正常运转期间，单片机检测索引脉冲的时间间隔，将偏离额定值的误差以八位二进制数形式由端口1（P10～P17）送到DAC电路，变成模拟电压，经运放LM324放大后分别加到三只达林顿管的基极。根据换向信号的状态，三只达林顿功率管将轮流导通，以调整电机的转速。

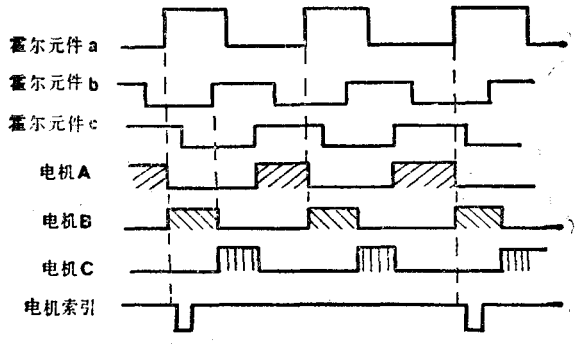


图9-38　Q540硬盘机主轴电机供电与霍尔信号的关系

电路中的DAC电路，输入参考电压约为0.8V（由R66和CR16决定），其参考电流约为0.6mA。当DAC的输入为全“0”时，输出端（第4脚）相当于开路，在运放LM324（U_{21}）的同相输入端，经电阻R68，加有0.8V的电压，使主轴电机满功率运转。当DAC的输入为全“1”时，输出端呈现低电阻状态，通过R68灌入满刻度电流，使运放U_{21}（LM324）的输入端为0V，此时流过电机三绕组的电流最小。因此单片机及DAC能根据转速的变化将主轴电机的控制电流细分成256个等级，使转速达到较高的稳定精度。

2．利用锁相技术稳定转速

在有些硬盘机中，利用相位比较电路，将转速脉冲与标准时钟进行比较，用其差值

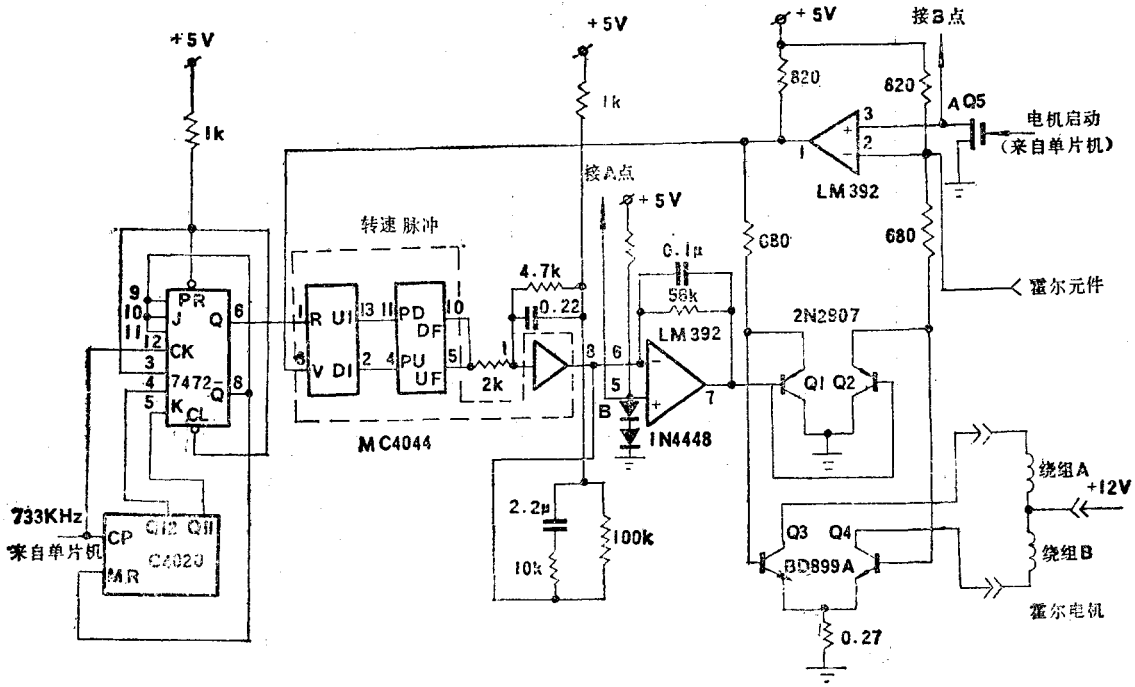


图9-39　R200系列硬盘机主轴转速控制电路

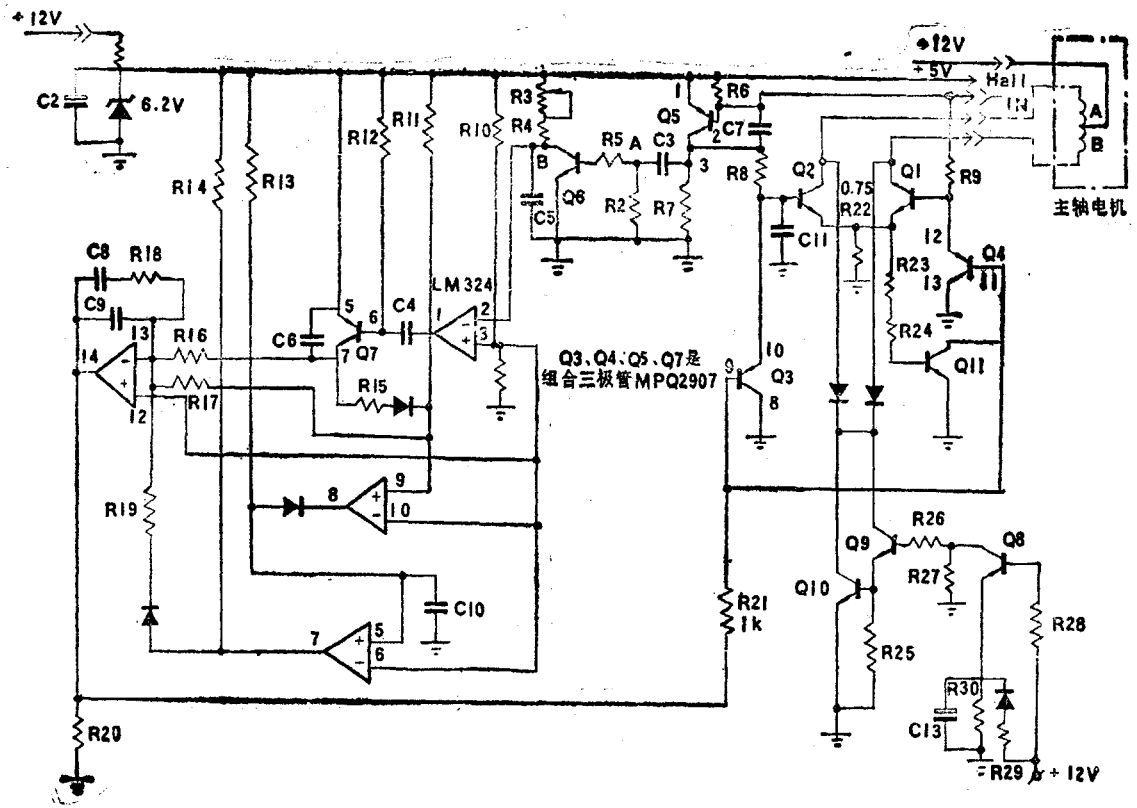


图9-40　ST412硬盘机的转速控制电路

作为调节主轴电机转速的控制信号。图9-39是Rodime公司的R200系列的硬盘机的主轴稳速电路。可以看出，这种转速稳定系统最大特点是，转速检测未采用单片机，而是用锁相回路中的相位比较集成电路MC4044。标准时钟是来自单片机的时钟输出信号(ALE)，其频率为733kHz，经两级分频器分频之后，频率变为120Hz。主轴电机中的霍尔元件的输出作为相位比较器的另一个输入，其频率在额定转速(3600转/分)时也为120Hz。当转速偏离额定值时，相位比较器将输出与转速偏差成正比例的电压。经LM392加到前置放大三极管Q_1和Q_2的基极。当霍尔元件输出为高电平时，Q_4导通，Q_3截止，主轴电机的B绕组将通过达林顿管Q_4加电。在霍尔元件输出为低电平时LM392的1脚为高电平，Q_3导通，Q_4截止，电机A绕组供电。很明显，电机绕组通电时间的长短取决于Q_1和Q_2截止时间的长短，也即取决于电机的转速；而电机的绕组换向则由霍尔元件的输出决定。从原理上讲，这种电机稳速系统实际是一个锁相系统，只不过电机可控的转速代替压控振荡器的输出而已。图中的场效应管Q_5的作用是：在硬盘机加电初始检测结束后，单片机送出“主轴电机启动”信号，使场效应管截止，运算放大器LM392的5脚、3脚接有1.4V电平，使Q_1和Q_2处于截止状态。因此Q_3和Q_4将根据霍尔元件的输出轮流长时间导通，电机满功率供电而加速运转。当主轴电机达到一定的转速后，“主轴电机启动”信号改变状态，场效应管Q_5导通，LM392的3和5脚接地，Q_1和Q_2的基极电压决定于相位比较器的输出，进入正常的调速阶段。利用这样的调速电路，主轴电机的转速稳定精度可达0.1%。

3. 利用电压比较器稳定转速

利用电压比较器也能达到稳定转速的目的。图9-40是ST412型硬盘机的主轴转速控制原理图。这是一种利用电压比较法稳定转速的典型例子。控制主轴电机绕组供电的两只达林顿功率管(TIP120)Q_1和Q_2的工作状态取决于霍尔元件的输出电平。在霍尔输出为高电平时(+5V)，Q_1导通；反之，霍尔输出低电平，Q_5导通，Q5-3高电平则使Q_2导通。但Q_1和Q_2导通的时间则取决于Q_3和Q_4的状态。当Q_3、Q_4导通时，不管霍尔元件的输出状态如何，Q_1，Q_2都将截止，主轴电机的两个绕组断电，自由运转而减速。在主轴电机启动加速期间，Q_3和Q_4将处于截止状态，Q_1和Q_2根据霍尔元件的输出状态轮流导通，给主轴电机满功率加电，使电机迅速达到额定转速。

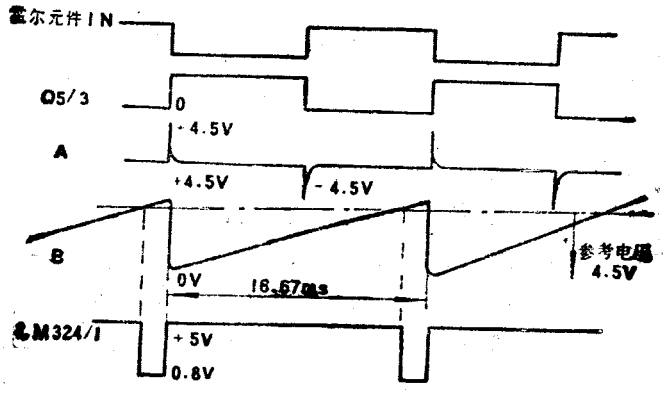


图9-41 电压比较波形图

Q_6(2N3904)是锯齿波产生电路。在霍尔元件输出为低电平时，Q_5导通，经微分电容C_3的作用，在Q_6的基极上加有正向尖脉冲，使Q_6瞬间导通，C_5通过Q_6迅速放电，其后Q_6截止，由6.2V电源通过R_3和R_4，对电容C_5充电，直到霍尔元件输出再次由高电平转为低电

平时为止，这样就在C_5(图中的B点)上产生一个周期与转速相应的锯齿波电压。锯齿波电压加到作为电压比较器的LM324的2脚，与3脚的基准电压进行比较，在1脚输出端得到一列负脉冲。脉冲的周期取决于霍尔元件的输出周期；脉冲的宽度取决于锯齿波的幅值与基准电压的差值(见图9-41)。LM324/1的输出经510K(R17)加到由LM324/14构成的积分器输入端，经与基准电压比较之后，在积分器的输出端得到与脉冲宽度成正比例的电压，作为控制Q_1和Q_2导通时间的控制信号。

当转速较低时，电容C_5的充电时间长，由电压比较器LM324/1输出的负脉冲宽度变宽，因此积分器LM324/14的输出电压偏高，Q_3和Q_4趋向于截止，使Q_1和Q_2导通时间加长，主轴电机加速。若转速高于额定数值，比较器输出的负脉冲变窄，甚至消失，积分器输出低电平，Q_3和Q_4处于导通状态，使Q_1和Q_2的基极接地而截止，电机减速。调节电位器R_3，可改变电容C_5的充电时间常数，调整锯齿波的峰值与参考电压之间的关系，达到改变额定转速的目的。

图中Q_8、Q_9和Q_{10}在加电时，都处于截止状态，对主轴电机的工作不产生任何影响。关掉电源时，主轴电机处于发电机状态，绕组中的感应电动势使Q_8、Q_9和Q_{10}导通，对主轴电机实施动态刹车。Q_{11}的功用是对流过主轴电机的控制电流起限流保护。

第四节　磁头定位控制电路

本节结合一些典型产品，详细介绍开环控制、半闭环控制、闭环控制三种磁头定位系统的工作原理及典型电路。最后还介绍产生零磁道信号的电路。

一、开环控制定位系统

采用步进电机驱动磁头的开环控制定位系统，以其结构简单及价格低廉，广泛地用于5.25英寸硬盘机。这种开环控制定位系统中的步进电机及驱动磁头的机械结构部件，在第八章中已介绍过，本节着重叙述这种系统在控制及电路方面的一些特点。

1. 两种步进速率控制方式

根据步进电机的工作原理，每输入一个电脉冲，步进电机将转动一个固定的角度，即步进一步。当无脉冲输入时，电机的转子将锁定在某一位置，使磁头停留在某磁道上。步进的速率取决于输入脉冲的频率，步进的步数决定于脉冲的的个数。为了改善这种开环定位系统的动态响应性能，在当今硬盘机中充分利用了单片机的灵活性，采用以下两种步进速率控制方式。

(1) 单步步进控制　当控制器发来的步进脉冲间隔大于3ms时，每一个步进脉冲驱动电机走一步。稍停之后，在下一个脉冲的作用下再前进一步。单片机在这种控制方式时的程序流程框图见图9-42。可以看出，在这种情况下，步进电机的运动与控制器来的步进脉冲是一一对应，且完全同步的。这种控制方式一般发生在对磁头的运动作加"1"前进控制或减"1"后退控制的情况。例如对硬盘机作格式化时，需使磁头由零道起，逐一移动到最大道号，每移一道要在每个扇区的开始写上地址标记并进行校验，因此要求步进电机每走一步要停留一下，以执行写、读操作。

(2) 缓冲找道控制　为使磁头以最快的平均找道速度由现行磁道移动到目的磁道，

在步进电机驱动的开环定位系统中，广泛采用了缓冲找道的技术。控制器以很高的频率向硬盘机发出步进脉冲(脉冲间隔为10μs～200μs)。单片机将这些代表现行磁道与目的磁道差的脉冲存储在缓冲器中，然后转换成一串连续的脉冲，以驱动步进电机连续转动，而不需每步进一步停留一下，故磁头移动的速度大大加快。例如Seagate公司最初制造的ST506型硬盘机，因未采用缓冲找道的控制方式，平均找道时间为170ms，后来改用缓冲找道的ST412则平均找道时间降至80ms。在缓冲找道时，单片机输出的连续

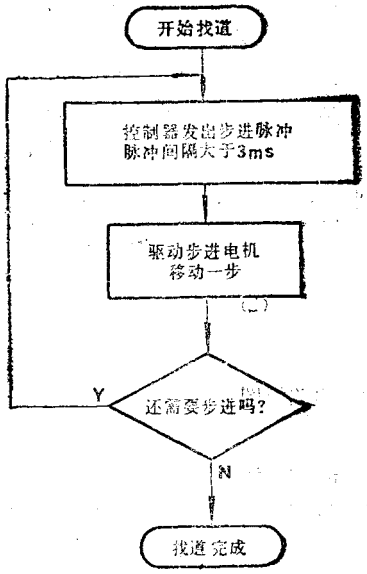


图9-42　单步找道流程图

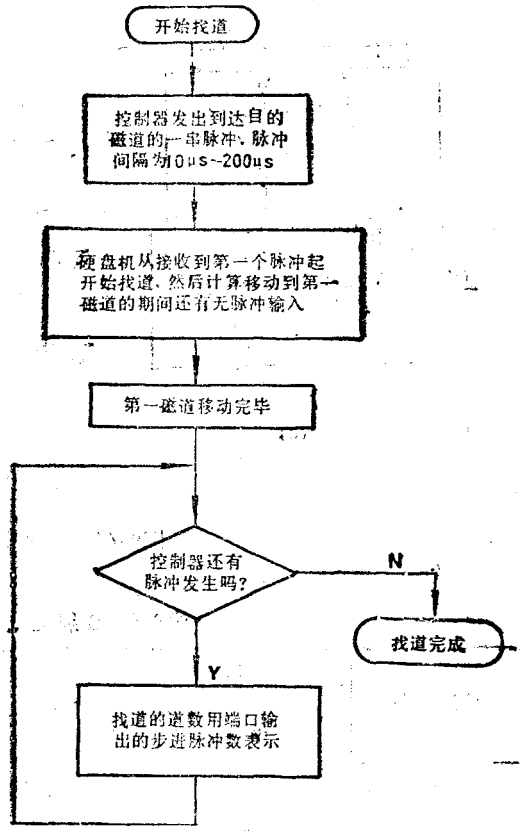


图9-43　缓冲找道步进程序流程图

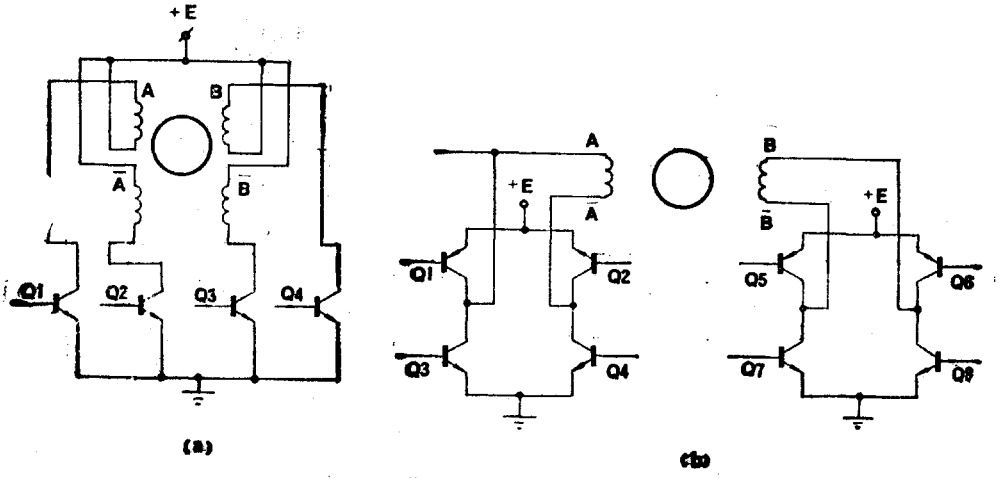
脉冲个数与输入的脉冲数相同，但频率是依据现行磁道与目的磁道之间的道差变化的，这样既保证磁头快速移动，又防止速度过快而冲过目的磁道。图9-43是缓冲找道时，单片机的控制流程图。

2．步进电机驱动电路的特点

硬盘机中步进电机驱动方式用得最多的有四相绕组的单极性驱动和两相绕组的双极性驱动两种典型方案(图9-44)。对于前一种方案，驱动电路简单而造价低，但输出力矩偏小；后一种方案因激磁电流同时流过两相绕组，因此输出力矩大，阻尼特性好，是最常用的方式。根据绕组加电激磁的顺序，又分成两相绕组同时激磁的单步四拍方式和一相激磁与两相激磁交替进行的半步八拍方式两种(简称1-2相)。绕组的加电靠三极管的通断，实施控制。表9-4是四绕组单极性激磁的驱动方式。表9-5是双绕组双极性驱动方式。

此外，在步进电机的驱动电路中还有两种特殊的控制方式需要介绍一下，以便读者在接触到具体电路时，更好地理解步进电机驱动磁头的控制原理。

(1) 双电源驱动　供给步进电机绕组的驱动电源有两种，在开始步进时，用电压较高的电源驱动，待运动平稳后转换为较低的电压电源供电(如图9-45)，这样提高步进电机响应的快速性，缩短磁头的定位时间。电压转换的控制将由单片机根据已完成的步进步数来确定。



注：Q_2为PNP管

图9-44　两种步进电机驱动电路简图

表9-4　四绕组单极性驱动方式序列表

步进方式	相位 / 步序	A(Q_1)	$\overline{A}$(Q_2)	B(Q_4)	$\overline{B}$(Q_3)
单步四拍运行	1	×			×
	2	×		×	
	3		×	×	
	4		×		×
半步八拍运行方式	1	×			×
	2	×			
	3	×		×	
	4			×	
	5		×	×	
	6		×		
	7		×		×
	8				×

注：×—表示对应的三极管导通和绕组加电激磁

表9-5　双绕组双极性驱动方式序列表

步进方式	相位 / 步序	A	$\bar{A}$	B	$\bar{B}$	控制三极管 Q1—Q4	Q2—Q3	Q5—Q8	Q6—Q7
单步四拍运行	1	+	−	−	+	×		×	
	2	+	−	+	−	×			×
	3	−	+	+	−		×		×
	4	−	+	−	+		×	×	
	5	+	−	−	+	×		×	
半步八拍运行	1	+	−	−	+	×		×	
	2	+	−			×			
	3	+	−	+	−	×			×
	4			+	−				×
	5	−	+	+	−		×		×
	6	−	+				×		
	7	−	+	−	+		×	×	
	8			−	+			×	
	9	+	−	−	+	×		×	

“×”—表示对应的三极管对导通

“+”—表示灌入绕组

“−”—表示电流流出绕组

（2）微步控制　步进电机在机械位置上确定的步距角决定于绕组的激磁状态，如在电路上对步进一步的激磁电流进行细分，就能使转子以步距角的细分值，一小步一小步地步进，这就是微步控制。步进电机通常的控制方式是某相绕组激磁或断电，使其转过一整步；而微步控制的方式是将某相的激磁电流分

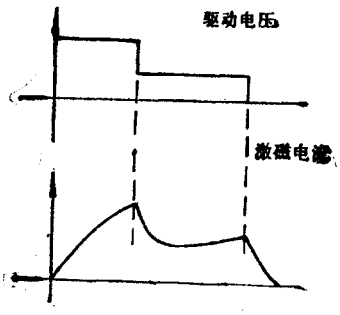


图9-45　双电源驱动时的激磁电流

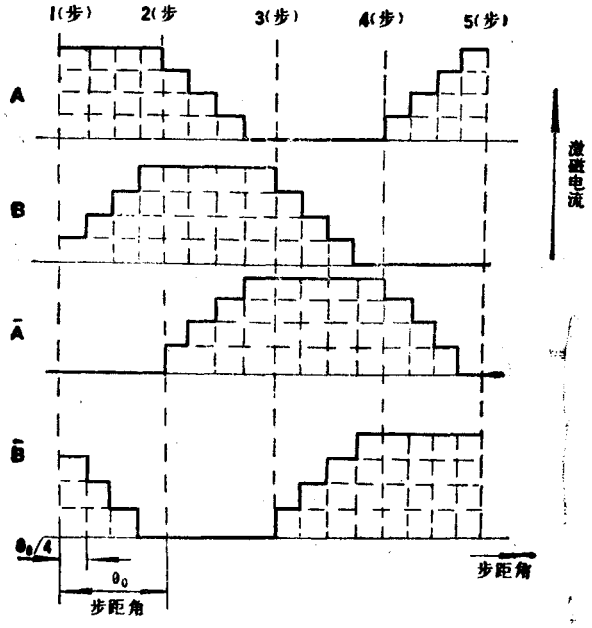


图9-46　微步控制示意图

数步升高到额定值，对应的另一相则按同样的步数将激磁电流减小到规定的数值。图

9-46是两相激磁四拍微步控制的驱动时序图。微步控制能对磁头的最终位置作微量调整，对于提高定位精度，提高读/写可靠性是具有一定意义的。

到现在为止，已经对步进电机在硬盘机的磁头定位系统中的工作模式及驱动电路的一般功能及某些特点作了概括性的说明，下面将结合具体电路进一步介绍几种典型的控制驱动电路。

3．步进电机的驱动电路

前面已介绍过，由硬盘控制器送来的步进脉冲及方向信号，由单片机作处理后，将由其端口送到控制步进电机的驱动电路，产生步进驱动信号。这一驱动信号状态的变化快慢，取决于磁头应移动的磁道数(也就是步进电机应走的步数)，由单片机根据固化的微程序按最优控制的方式作相应的调整。步进电机驱动电路的任务在于将单片机送出的步进控制信号加以功率放大，以使步进电机驱动磁头移动到目的磁道。按驱动电路构成形式分有：分离电路，通用驱动集成电路，步进电机专用驱动集成电路等。下面分别加以说明。

(1) 分离式驱动电路　图9-47是Seagate公司的ST412型硬盘机(10MB)步进电机的

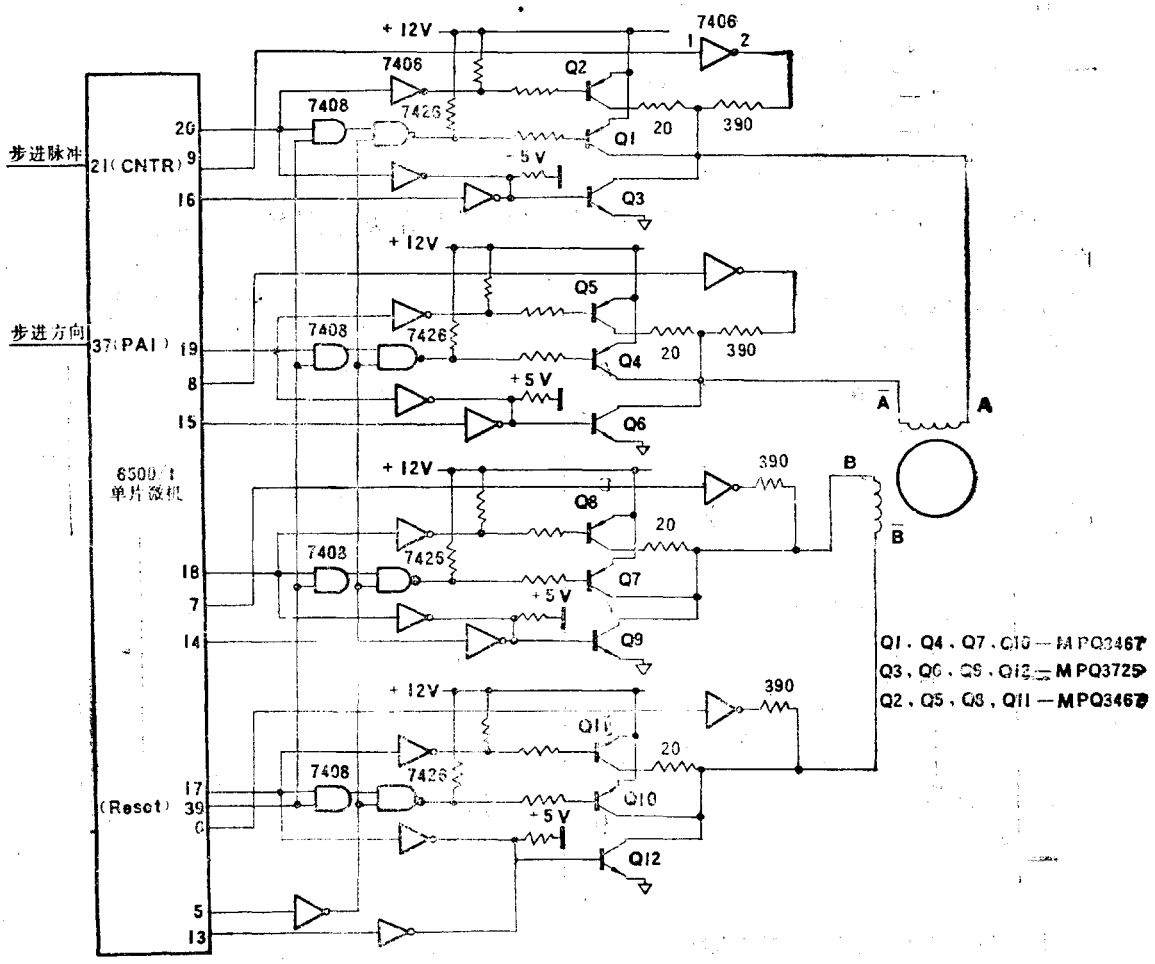


图9-47　ST412硬盘机的步进电机控制电路

驱动原理图。步进脉冲和方向信号由单片机6500/1的“21”脚(CNTR)和37脚(PA1)输入，由6500/1端口的5～9脚、13～20脚及39脚输出控制步进电机步进的状态信号。由门电路及三极管组成的驱动电路将单片机送来的状态信号放大，变为驱动两相步进电机的双相激磁电流。由单片机6500/1的39脚送出的“步进允许”(Stepping Enable)在硬盘机加电启动后，将转为高电平，使步进电机驱动电路，能根据单片机输出的相位控制信号，产生一定方向的激磁电流。为保证硬盘机能完成正常的找道动作，该信号将继续保持高电平。单片机5脚输出的信号用于改变步进电机驱动电流的大小。在开始步进时，为了加快步进速度，5脚为低电平，经反相后变为高电平，通过与非门7426(集电极开路门)的转换，将使三极管Q_1、Q_4、Q_7和Q_{10}在一定的相位控制信号作用下而导通。+12V的电压将会加到步进电机激磁绕组，产生较大的步进力距。当步进动作持续一段时间后而结束时，5脚的信号将转为高电平，7426处于开路状态，Q_1、Q_4、Q_7和Q_{10}截止，步进电机的绕组电路中串联了一只20Ω电阻，使步进电机在步进结束后的保持状态下，消耗较小的功率。ST412型硬盘机的步进电机的驱动方式是1-2相交替激磁半步八拍方式的。根据表9-6，单片机端口送出的八个步进相序控制信号可分为四组：即控制A绕组正向激磁的A_1(20)和A_2(15)，A绕组负向激磁的$\overline{A_1}$(19)和$\overline{A_2}$(16)，B绕组正向激磁的B_1(18)和B_2(13)，B绕组负向激磁的$\overline{B_1}$(17)和$\overline{B_2}$(14)。表9-6是步进电机激磁状态在八拍循环里的变化情况。例如在步进序号为“0”时，其相序控制信号的状态为：$A_1=L$，$A_2=H$；$\overline{A_1}=H$、$\overline{A_2}=L$；$B_1=L$，$B_2=H$；$\overline{B_1}=H$，$\overline{B_2}=L$(H－代表高电平，L－代表低电平)，此时Q_5和Q_3和Q_{11}和Q_9导通。所以此时步进马达A相绕组的$\overline{A}$端电平为+8V，A端为0V；B相绕组的B端为0状，$\overline{B}$为+8V。由接口输入步进脉冲后，单片机输出的A_1、A_2；$\overline{A_1}$，$\overline{A_2}$；B_1、B_2和$\overline{B_1}$、$\overline{B_2}$作相应改变，绕组的激磁状态也将发生变化，使步进电机产生步进。表9-6是步进电机激磁状态在八拍循环里的变化情况。单片机6、7、8、9脚的输出作为微量调整用。

表9-6　ST412硬盘单片机输出及步进电机供电变化表

步进序号	单片机输出状态								电机绕组供电状态			
	20	19	18	17	16	15	14	13	$\overline{A}$	A	B	$\overline{B}$
0	L	H	L	H	L	H	L	H	8	0	0	8
1	L	H	H	H	L	H	H	H	8	0	12	12
2	L	H	H	L	L	H	H	L	8	0	8	0
3	H	H	H	L	H	H	H	L	12	12	8	0
4	H	L	H	L	H	L	H	L	0	8	8	0
5	H	L	H	H	H	L	H	H	0	8	12	12
6	H	L	L	H	H	L	L	H	0	8	0	8
7	H	H	L	H	H	H	L	H	12	12	0	8
8	L	H	L	H	L	H	L	H	8	0	0	8

注：1）表中的13—20为单片微机的脚号；2）电机供电电压的单位为“V”。

(2) 通用集成驱动电路　Shugart公司的SA712型硬盘机的步进电机是四绕组结构的，采用两相激磁四拍运行。图9-48是步进电机的驱动电路，由一只SN75437型(或DS3658)驱动集成电路接收单片机(6500/1)输出的步进电机控制信号，经功率放大后依

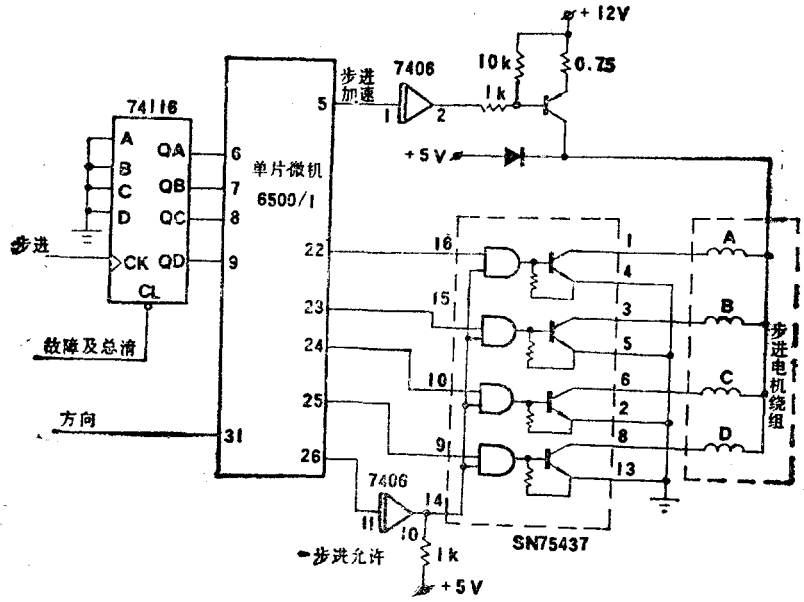


图9-48　SA712硬盘机的步进电机驱动电路

次给步进电机各相激磁。当硬盘机加电初始化完成之后，由硬盘控制器送来的步进脉冲，通过二进制计数器74116计数后，送入单片机的端口。同时“步进允许”有效，使驱动电路75437能接受单片机来的控制信号。单片机根据方向信号以及步进脉冲的数量，间隔地送出驱动步进电机的控制信号，以进行单步步进或缓冲找道。为缩短步进时间，在步进的初始阶段，单片机5脚给出“步进加速”信号，驱动三极管导通，给步进电机绕组供以+12V的电压。步进快结束时，“步进加速”信号消失，三极管截止，绕组改由+5V电源供电。步进电机的绕组激磁是单方向的，相序变化见表9-7。

表9-7　SA712步进电机激磁序列表

步　序	A相	B相	C相	D相
0	×			×
1	×		×	
2		×		×
3		×	×	
4	×			×

注：×—表示绕组加电

(3) 专用步进电机驱动集成电路　由于5.25英寸硬盘机的应用日益广泛，生产数量大增，为降低成本及提高产品可靠性，步进电机驱动电路已制成专门的集成电路，供磁盘机生产厂家选用。Seagate Technology公司生产的ST225型5.25英寸半高硬盘机(20MB)的步进电机驱动部分是采用这种专用集成电路的例子之一。图9-49是ST225型硬盘机步进电机驱动的电原理图，其中驱动步进电机的专用集成电路的内部框图见图9-50。

单片机接受控制器传送来的步进脉冲及步进方向信号，经微程序处理后，由端口C

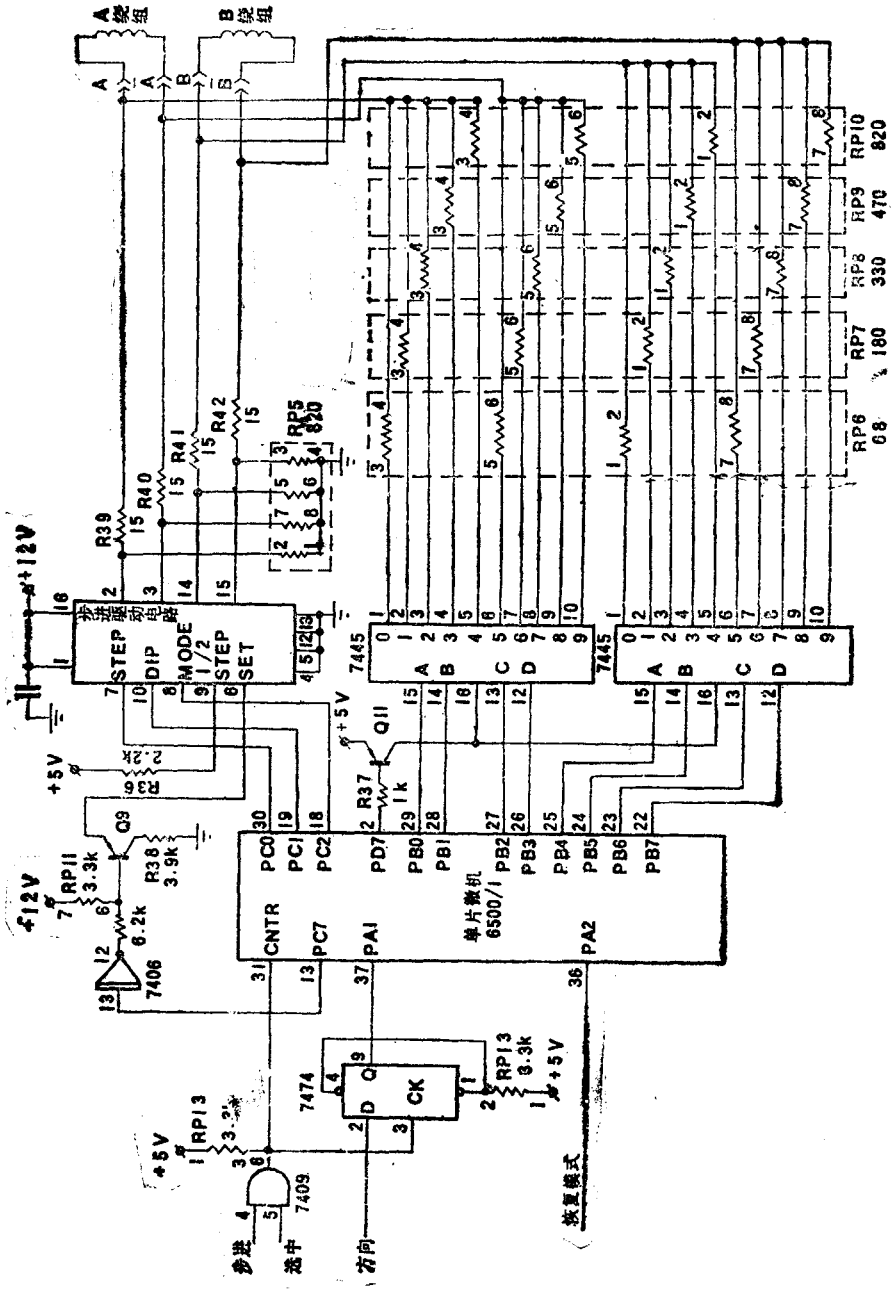


图9-49 ST225硬盘机的步进电机控制电路

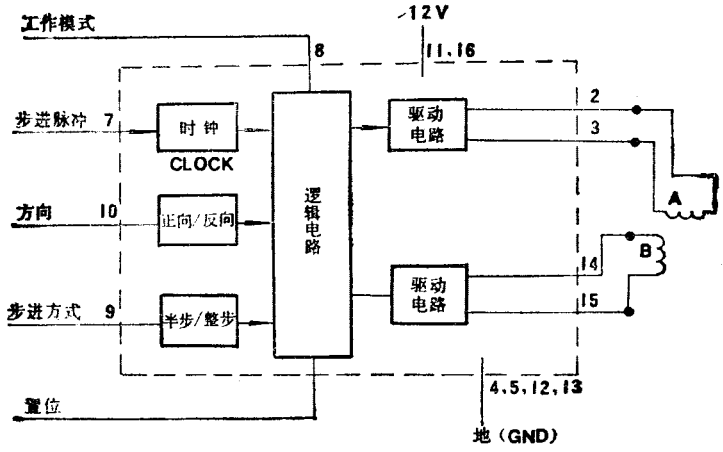


图9-50 ST225硬盘机中步进电机驱动电路内部框图

送出“串行步进控制”信号，“方向控制”信号及“步进模式”信号(缓冲找道或非缓冲找道)，使步进驱动电路按要求产生驱动步进电机的控制信号。端口C的PC7输出的是“步进允许”信号，即硬盘机加电后自检正常，转速达到额定值时，PC7脚给出高电平信号，使步进驱动电路能输出激磁电流。与前两种步进驱动控制方式最大的不同点是，单片机输出的步进控制脉冲是串行的，需经专用驱动电路转换成并行的控制信号。由原理电路图可看出，因步进驱动电路的9脚“1/2Step”接有高电平，电路最后输出的驱动脉冲是按1-2相——半步八拍方式提供的。ST225硬盘机中对步进电机还采用了微步控制方案。微步状态受硬盘机和控制器送来的“恢复模式”信号的控制。当该信号有效时，单片机的端口PD7输出低电平使二—十进制转换器(BCD)7445能作正常的转换。同时根据预先固化的微程序，单片机的端口B输出二进制的微步控制信号，经7445转换后，使相应的分流电阻并联到步进电机两个控制绕组的输入端，对绕组的激磁电流进行分流，从而对步进马达的步距角达到微步调整的目的。

二、半闭环定位系统

在5.25英寸硬盘机中，为在有限的空间内获得最大的存储容量，增加磁道密度，充分利用盘片的有效使用面积是十分有效的方法。随着记录密度的增高，对磁头定位精度的要求也愈来愈高。虽然采用后面将要介绍的一种伺服面定位系统，能较好地解决高道密度与高定位精度之间的矛盾，但由于这种系统要采用音圈电机，结构和电路都比较复杂，又要有一个盘面专门刻写伺服定位信息，所以价格较高，一般只用于高性能的硬盘机。随着微型计算机的普及，性能价格比成了硬盘机在激烈的市场竞争中能否生存的至关重要的因素。有的制造商为获得较好的性能价格比，仍采用步进电机作为硬盘机磁头位置驱动机构，但部分地采用了伺服定位技术，这就是所谓的半闭环伺服定位系统。下面将结合具体的例子对这种磁头定位方式作一简单的介绍。

图9-51为Microscience公司生产的硬盘机HH612和HH725中所采用的嵌入式伺服方式。一般硬盘机的转速为3600转/分，盘片每转一圈，耗时16.7ms。这两种硬盘机

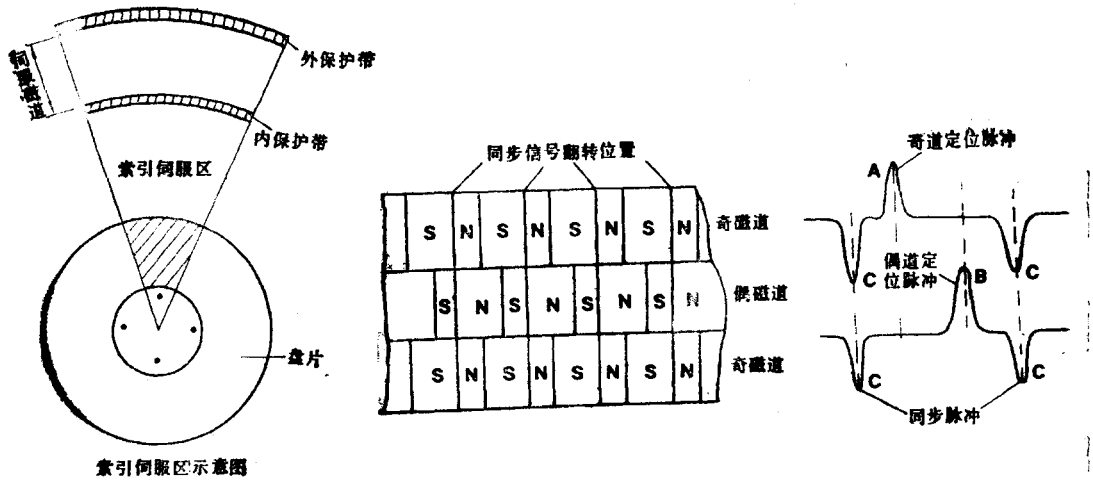


图9-51 索引伺服区及三位伺服码信号的组成

的转速为3550转/分，盘片每转一周耗时16.9ms，将多余出0.2ms（即200μs）用来记录伺服信息。这个伺服信息区规定在索引信号之前的200μs的区间，在这一区域内用户不能存放的数据，因而通常把这一区域叫做索引伺服区。伺服定位信息采用如图9-51所示的三位编码（tri—bit）图形，含有同步脉冲与定位脉冲两部份。对于所有磁道上的同步脉冲的出现位置是完全一致的（即磁化翻转出现在同一条径向线上），但定位脉冲将因奇、偶道而异。根据图9-52所示的规则，将形成奇偶伺服磁道。当磁头处在两条伺服磁道的交界位置时，感应出的奇偶磁道脉冲（即O和E脉冲）峰值相等。当磁头偏向奇磁道时，奇道脉冲的峰值大于偶道脉冲的峰值。反之，则偶道脉冲的峰值高于奇道脉冲。因此可通过比较奇、偶磁道定位脉冲的峰值确定磁头的位置。由图9-52中可以看出两条伺服磁道的结合部正好是数据磁道的中心，也即伺服磁道与数据磁道正好相差半个磁道的距离。将相邻奇偶磁道的定位脉冲的峰值之差作为控制信号，经闭环调整，就能将磁头准确地

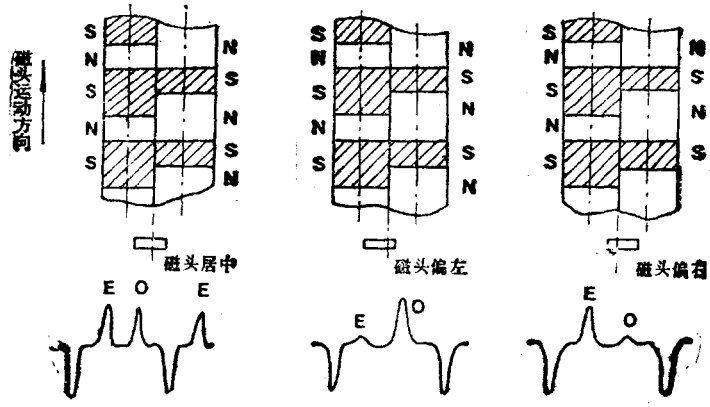


图9-52 三位元伺服码产生磁头位置信息的方法

定位在数据磁道的中心位置。三位伺服码有同步信号，且代表相邻两磁道的脉冲很容易被分离，具有较强的抗干扰能力，给电路设计带来很大的方便，因此这种驱服码已应用于许多硬盘机中。

HH725型半高硬盘机在从现行磁道到目的磁道的找道过程中，采用开环控制方式。根据输入的步进脉冲及方向信号，由单片机给出驱动步进电机的控制信号，使步进电机以最快的速度移动到目的磁道。在这一过程中，索引伺服区中的伺服定位信息不起作用。待磁头到达目的磁道后，单片机将不断采样伺服定位信息，对步进电机进行微步控制，使磁头保持在数据磁道中心。图9-53是HH725磁头定位系统的电路图。找道过程的开环控制与其它步进电机驱动磁头的定位系统的工作情况是一致的。单片机8049的外部脉冲计数输入端T1接受来自硬盘控制器的步进脉冲。方向信号由数据总线(BUS)的17脚送入，然后根据固化在8049中的微程序判断找道的模式（缓冲还是非缓冲），由端口P1送出驱动步进电机的控制信号。图中的步进电机驱动电路U5，U6(3717)的8脚是步进电机激磁电流极性的控制端，9和7脚为激磁电流大小控制端，15和1脚为输出端。单片机P2端口输出的步进电机控制信号是调宽脉冲，经U5和U6的转换与功率放大后，使步进电机按1-2相交替激磁的半步八拍方式工作。步进电机将磁头驱动到目的磁道之后，单片机将在检测到机械索引信号(机械索引信号超前于送到硬盘控制器的接口索引信号270微秒)，上升沿后的270μs的期间内，发出“伺服磁头”控制信号(RWC)，使读/写前置电路（SSI115）在此期间只选中“00”号磁头，且工作于读信号状态，以使索引伺

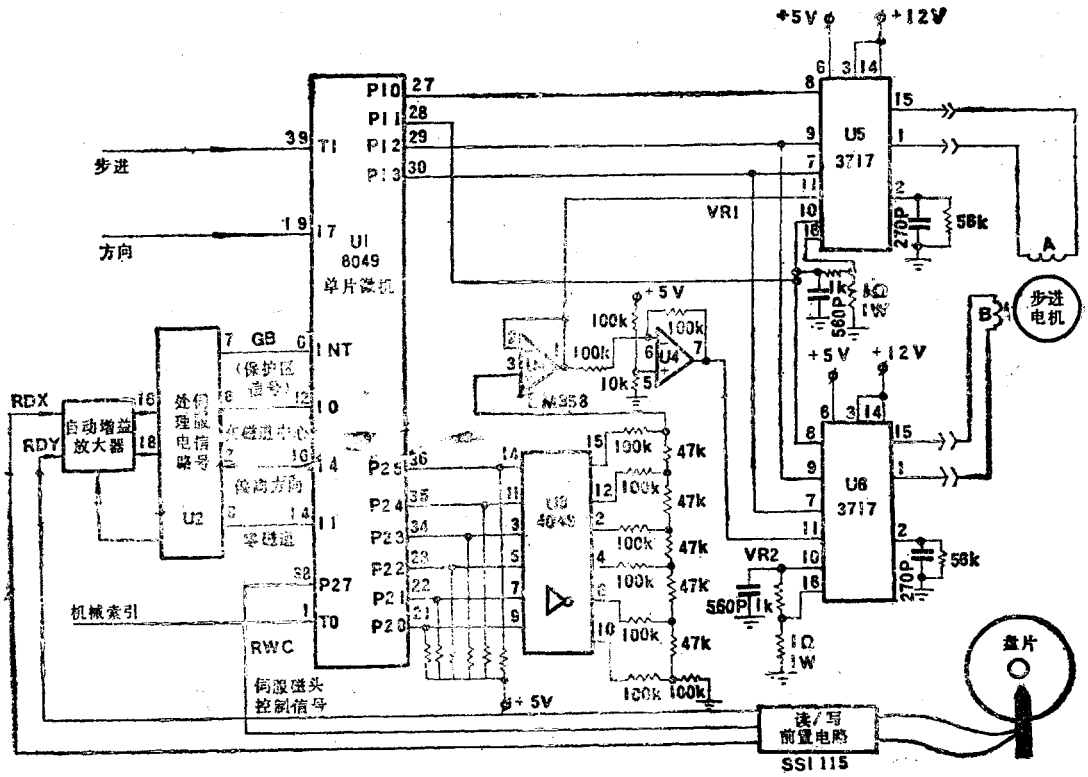


图9-53 HH725硬盘机磁头定位系统原理电路

服区内的定位信号能由磁头检测出来。索引伺服区中的定位信号经放大之后，馈送到专用的伺服信号处理电路，将代表相邻奇偶磁道的定位脉冲分离出来，并作峰值比较，最后给出TTL电平的“磁头偏离方向”(SIGN)和“磁头偏离程度”(INRANGE)两个状态信号，当代表磁头位置的两个定位脉冲的峰值不相等时，“INRANGE”为低电平；而“SIGN”的状态由磁头偏离的方向决定。单片机根据这两个信号的状态，将由端口P2给出控制信号，经U3及梯形电阻网络转变成模拟信号加入到步进电机驱动电路U5和U6的11脚，对步进电机作一次微步调整。每一微步调整所耗费的时间约为数十微秒。在微程序的自动控制下，上述闭环的微步调整过程一直进行到索引伺服区转过为止。因此在索引伺服区内对磁头能作多次的微步调整，以保持在数据磁道的中心。若在此期间磁头尚未调整到中心位置，需等待下一次索引伺服区的到来，以对磁头位置作新一轮的采样控制。

为防止硬盘机在加电启动和工作期间，磁头冲出内、外极限位置，在索引伺服区的内外边缘写了内、外保护区信号。保护区的宽度占有七个磁道。在初始化的过程中，单片机中的微程序将控制磁头按一定的方式移动到内、外保护区，以检测内、外保护区信号的控制功能是否正常。外保护区内的第一个磁道为“00”道，初始化结束后磁头将停在“00”道，此时伺服信号处理专用电路U2将给出“00”道(-TRK00)信号。在正常的工作过程中，单片机也将定时地检测“保护区”(GB—Guard Band)信号有否出现。若有，则控制磁头回到“00”道，重新作找道动作。

显然，嵌入式伺服定位系统的磁头定位精度比开环控制系统高，能克服温度变化及机械磨损等对磁头位置精度的影响，进一步提高了读/写可靠性。另一方面，这种定位不需要一个盘面提供伺服定位信息，且读/写磁头与读出定位信息的伺服磁头是公用的，因此成本较低。这种定位方式的缺点是磁头定位的时间较长，因要等待索引伺服区的出现。所以采用这种定位方式的硬盘机只适用于单用户的微型计算机系统。

三、伺服面定位系统

伺服面定位系统是以刻有定位信息的伺服盘面作为传感器，采用音圈电机作驱动电机的闭环控制系统。伺服盘面上预先写有位置信息，由一个专用的伺服磁头读出，经解码后得到表征磁头位置的定位信号。对这个信号的要求是：在磁头完全定位在磁道中心时，这个信号应该为零；而在磁头偏离磁道中心时要正比于定位误差的大小，极性决定于偏离的方向。磁头位置信号相对于磁头径向偏差的比值(即位置信号传递系数)是一个常数，而与磁头飞行的高度(头、盘间隙)、偏离磁道的距离及伺服磁头感应出的信号幅度无关。也即位置信号可用下式表达：

$$Ex = k(B - A)$$

$$k(A + B) = 常数$$

式中：Ex——定位信号

B——B磁道产生的信号

A——A磁道产生的信号

k——比例常数

伺服面刻写磁道位置信息的原则是：① 奇道上刻写一种信息，偶道上刻写上另一种

信息，以便解码时可以分出奇、偶磁道信号。② 整个伺服盘面由里到外分为三个区，最内圈为内保护区，连续刻上若干道偶道信息；接着是伺服区，刻写奇、偶相间的信息，最外圈为外保护区，连续刻上若干道奇道信息，如图9-54所示。

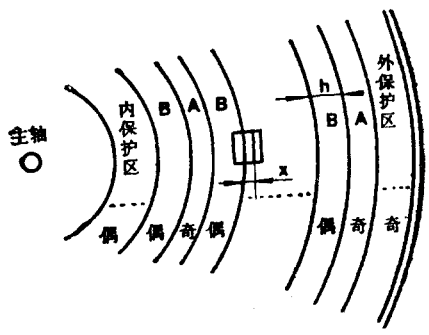


图9-54 伺服面上定位信息的分布

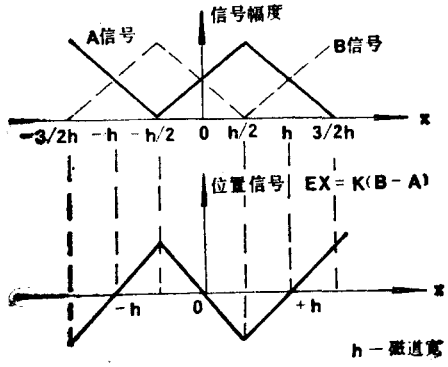


图9-55 伺服面位置信号的形成

当磁头处于A伺服道(奇道)中心时，只感应出A道的信号；处于B磁道(偶道)中心时，只感应出B磁道的信息；而在两条磁道的交界处时，则感应出相等的A道和B道信号。磁头在其他位置时，同时感应的A道信号与B道信号的幅值与磁头覆盖该磁道的宽度成正比，如图9-55所示。利用图9-56所示的电路框图，对伺服信息作处理，可得到图9-55的定位信号。由此可见两伺服磁道的交界处为数据磁道中心，即数据磁道与伺服磁道错开半条磁道。

1．伺服信号编码方式

硬盘机中采用的伺服信号编码主要有下列两种方式：

(1) 三位编码三位编码伺服面定位信息最早用于IBM3340型硬盘机中。前面介绍的Microseicnce公司的HH612和HH725硬盘机的索引伺服区中的定位信号也是这种编码方式。三位编码是采用脉冲位置编码的方法来区分A伺服磁道和B伺服磁道。编码本身有自己的伺服同步脉冲，它在A道和B道的位置是相同的，而且不论磁头的位置如何，感应出的同步脉冲幅度不变。A伺服道上的A脉冲在同步脉冲之后三分之一周期处，B伺服道上的B脉冲则在同步脉冲之后的三分之二周期处(见图9-51)。

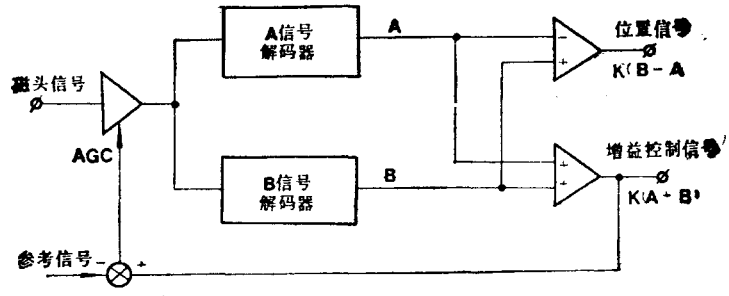


图9-56 三位编码伺服定位信号的处理框图

三位编码的最大优点是解码线路十分简单。因为同步脉冲的幅度不随伺服磁头偏

离磁道的位置而变化(即幅值恒定)，且是负极性的，因此，用电平比较器就可以十分方便地由读出的位置信号中分离出同步脉冲，然后用同步脉冲触发单稳电路，产生检测A信号和B信号的选通窗口脉冲，控制两路峰值检测电路测出A信号和B信号的峰值，再利用求和电路对A信号和B信号进行比较产生 Ex = B - A 的位置信号及 Ey = B + A 的自动增益控制信号(图9-56)。

(2) 双位编码　由于三位编码的信号脉冲是单极性的，易产生不对称性而引起位置信号的误差，妨碍了道密度的进一步提高，因而在一些高道密度的硬盘机中采用了更复杂的所谓双极性编码的伺服信号。下面以CDC公司的 WREN-9415 型硬盘机的伺服信号编码为例，介绍这种双位编码方式。

WREN-9415 硬盘机的伺服盘面分成四个区：数据区(0～696道)，内保护区，外保护区及着陆区。在这四个区内都记录有专门的编码信息，以互相区别并可使硬盘机完成不同的定位功能。伺服面上刻写的伺服定位信号的格式是由五个双极性(dibit)信号组成，每五个信号构成一个伺服字段(Servofield)，每条磁道共有2688个伺服字段，每个字段所占的时间为 6.2μs 。每个伺服字段中的五个信号是：同步(SYNC)、编码(Code)偶道 (EVEN)、奇道 (ODD)、方向 (Quadrature)。它们在磁道上记录的方式如图9-57所示。下面将说明这五个信号的功能。

① 同步信号(SYNC)　与三位编码一样，同步信号出现在A伺服道和B伺服道的同一位置，且不管磁头偏向那个方向，偏差多大，读出的同步信号幅值总是相同的。因此同步信号是伺服定位信号中的基准，用作锁相回路(PLO)的输入，使锁相电路的输出频率与同步信号一致，从而可作为其余四个伺服信号译码电路的时基信号。

② 编码(Code)　为区分伺服盘面上四个不同的区，不同区域的每条磁道上记录的编码信号是不相同的。在保护区中，其编码方式为101010，即每隔一个伺服字段记录一位编码(Code)信息。在数据区内，前六个伺服字段内记录有编码信息，其记录方式为111001，即连着三个伺服字段都记有编码信息，跟着的两个伺服字段，编码信息为空白，最后一个(第六个)伺服字段内再记一个编码信息位，伺服道上其余伺服字段内的编码信息位都为空白。对编码信息位采用这样的记录方式，主要用于产生索引信号。

③ 偶道位信号(EVEN)　数据区的偶磁道上刻写偶道位信号。

④ 奇道位信号(ODD)　数据区的奇磁道上刻写奇磁道位信号。

⑤ 方向位信号(Quadrature)　该信息有一半记录在偶磁道的外侧，另一半记录在奇道的里侧。

奇、偶道及方向三个信号的幅值随磁头位置的变化见图9-57所示。由图中可以看出：

① 数据磁道偏离伺服磁道半个道间距；

② 在伺服奇磁道中心，奇道位信号(ODD)幅值最高，而偶道位信号(EVEN)为零；在伺服偶磁道的中心，偶道位信号(EVEN)幅值最高，而奇道位信号为零；

③ 在数据磁道中心，奇道位与偶道位信号的幅值相等，都是最大值的一半。

④ 在伺服磁道上，方向位信号 (QUADRATURE) 的幅值为最大幅值的一半，而在偶数据磁道上幅值最高，在奇数据磁道上幅值为零。

⑤ 同步位信号不论磁头在什么位置，幅值都是一样的。

根据上述关系，解码电路将以同步脉冲信号为基准分离出奇、偶及方向三个脉冲信号，供给磁头伺服定位系统作定位用。分离出的编码位(Code—图中未画出)信号用来产生保护带和索引信号。

2．伺服面定位系统的组成与原理

伺服面磁头定位系统具有定位精度高，响应速度快的优点，是高性能小型硬盘机中广泛采用的定位系统。下面以CDC公司的WREN—9415型硬盘机为例，说明这类系统的组成与工作原理。

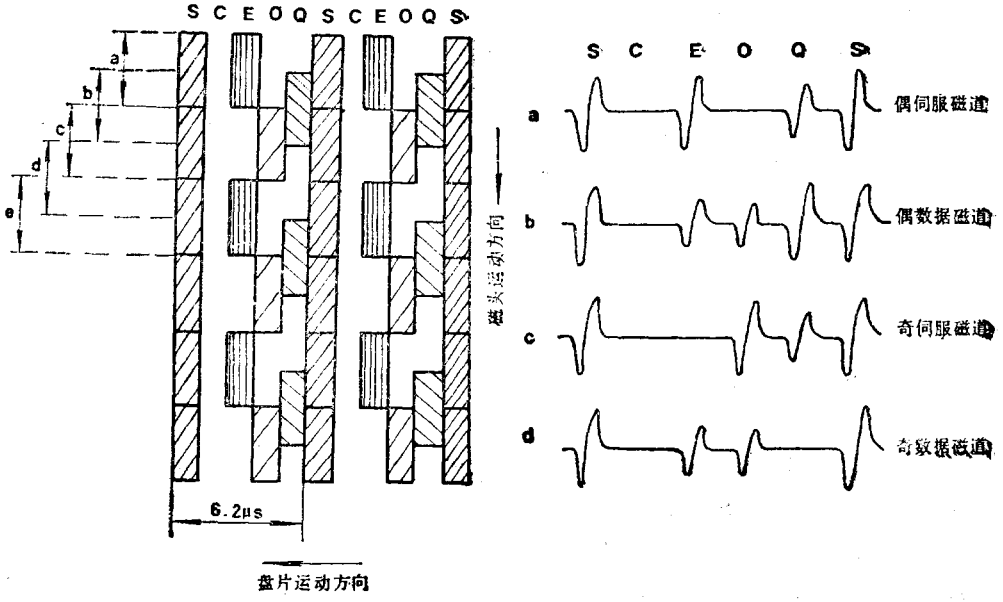


图9-57　双极性伺服信号的组成

图9-58是WREN—9415定位系统的功能框图，包含着速度反馈、位置反馈和电流反馈三个控制回路。该系统的基本工作过程是这样的，由硬盘控制器发来寻找的步进脉冲和步进方向信号后，定位系统开始工作：

① 单片机发出速度模式控制信号，并根据应要找的道数，计算出最佳的速度指令信号，以字长为7位的二进制数字方式输给数模转换(D/A)电路，同时根据现行磁道和目的磁道之间的关系产生出找道方向的控制信号，以赋予数模转换电路输出电压正确的极性。

② 数模转换电路(D/A)将数字式的速度指令信号转换成模拟电压，经校正网络处理及功率放大后驱动音圈电机，使磁头以最佳的运动速度移向目的磁道。

③ 伺服面上的伺服磁头读出的磁头位置信号经放大及解码处理之后，产生出与磁头运动速度成正比的电压信号，作为速度负反馈与单片机产生出的指令速度信号作比较，其差值控制磁头运动，而形成速度闭环回路。

④ 磁头每经过一次伺服磁道中心，译码电路将产生一个磁道脉冲送到单片机。单片机不断计算到达目的磁道的距离，并因此而调整移动磁头的速度。

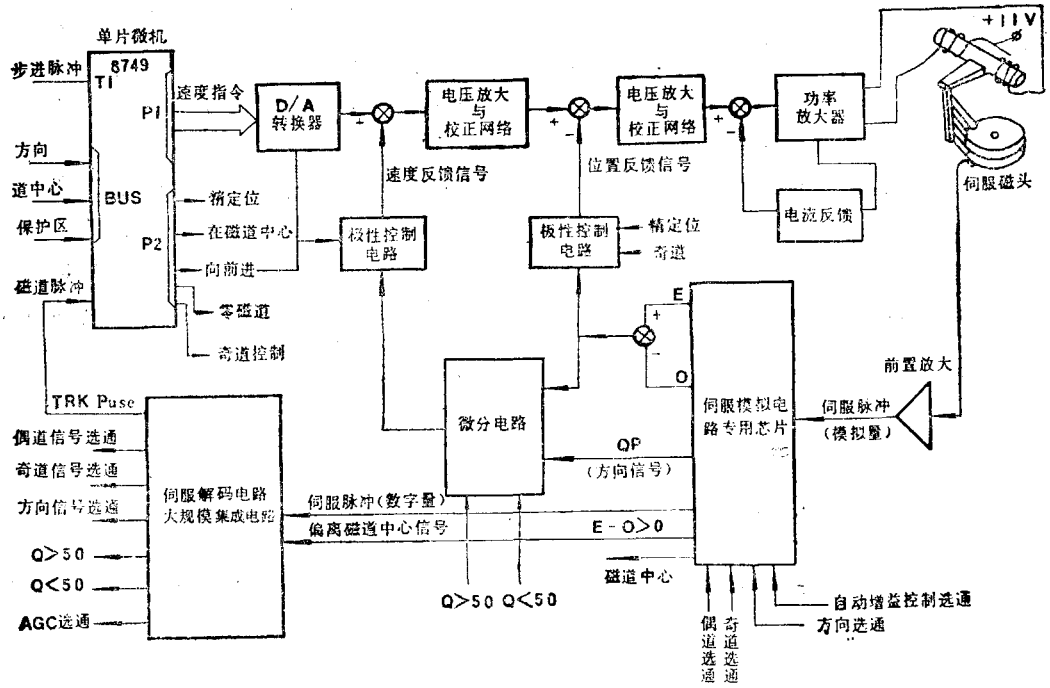


图9-58 WREN-9415硬盘机磁头定位系统框图

⑤ 当磁头进入距目的磁道中心线半个磁道间距的区域时，单片机发出精定位控制信号，使定位系统工作于位置控制模态，磁头位置信号译码电路给出位置调整信号，对磁头位置作精调整，使其最后锁定在目的磁道的中心位置。

⑥ 不管定位系统工作于速度模式还是位置模式，流过音圈电机的电流将作为负反馈信号送到系统的求和放大器以改善系统的动态性能。

伺服磁头读出的磁头位置信号(信号编码方式见图9-57)，由低噪声的前置放大器加以放大和滤波处理，其输出加到模拟伺服信号处理电路(专用的大规模集成电路)。在“偶道选通(EVEN GATE)”、“奇道选通(ODD GATE”、“方向选通(QUADGATE)”、“AGC选通(AGC GATE)”四个信号的作用下，检出偶道(E)、奇道(O)、方向(Qp)等三个双极性信号的幅值，利用求和电路输出模拟量的偶、奇道信号的差值“E-O”另外从这一专用集成电路还输出数字化处理后的“伺服脉冲”(Servo Pulse)和“在道中心”(TRKCNT)及“偏离方向”(E-O>0)两个状态信号。伺服解码电路(也是专用大规模集成电路)根据伺服脉冲和磁道偏离中心信号“E-O>0”，输出以下几个选通及控制信号：

① 磁道脉冲(TRAK PULSE)

② 偶道信号选通脉冲(EVEN GATE)

③ 奇道信号选通脉冲(ODD GATE)

④ 方向信号选通脉冲(QUADRATURE GATE)

⑤ 自动增益选通脉冲(AGC GATE)

⑥ Q>50和Q<50状态信号

在磁头穿越一条伺服磁道中心时，产生一个磁道脉冲，送到单片机作现行磁道计数

用。奇道、偶道、方向及自动增益选通脉冲全部作为模拟伺服信号处理电路的控制信号，使其能将奇道、偶道、方向、编码等信号分离出来(图9-59)。“Q>50”和“Q<50”是表示方向信号幅值状态的控制信号。微分电路产生速度反馈信号时，要用这两个控制信号作输入信号的转换。

速度反馈信号是由模拟和伺服信号处理电路输出的奇偶信号差“(E-O)”和方向信号“(Qp)”微分而形成的。当磁头向--个方向前进时，“E-O”和“Qp”的峰值将随着磁头的位置而变化(图9-60)，变化的斜率反映了磁头运动速度的大小。因此将这两个信号进行微分就可获得与磁头运动速度成正比的信号。由图中还可看出，在不同的区域，

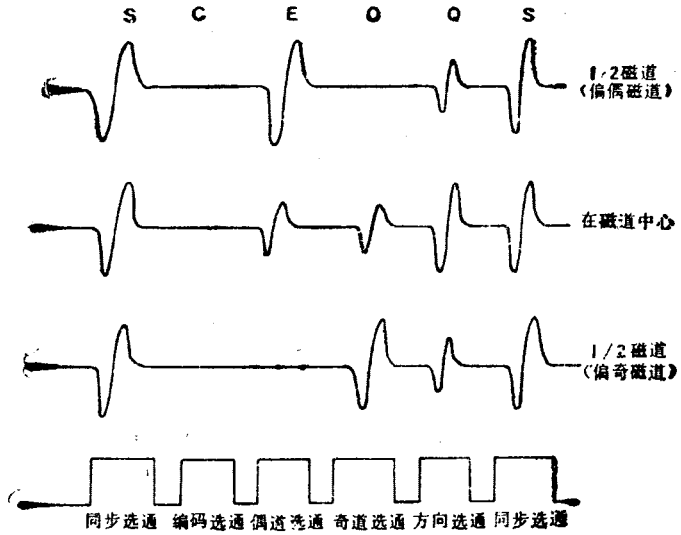


图9-59 伺服编码信号解码时的时序图

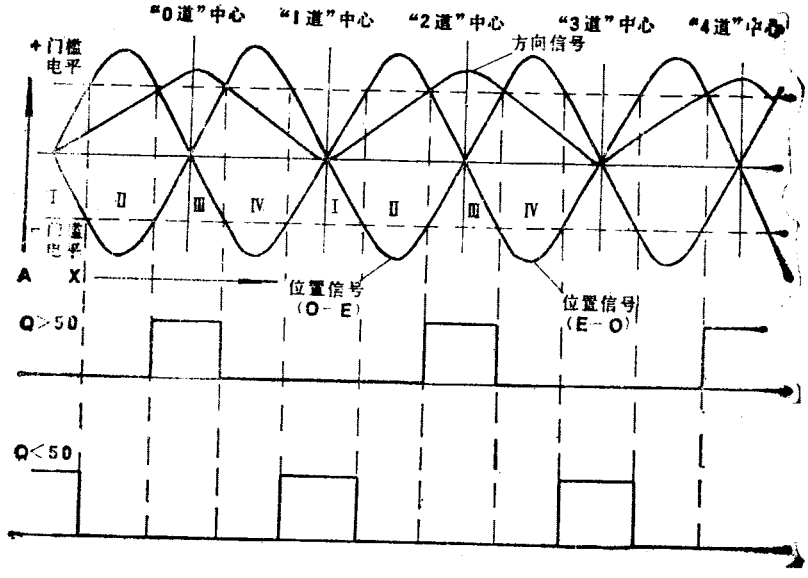
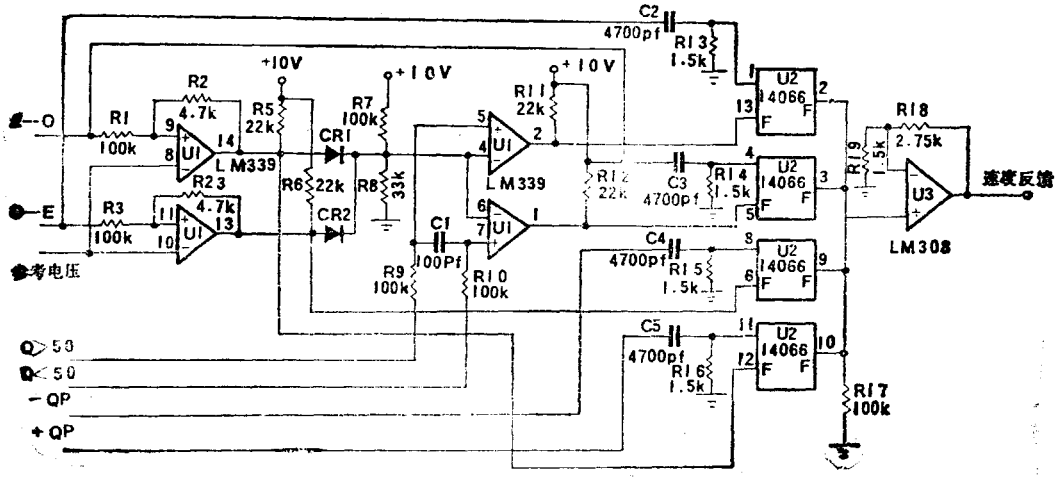


图9-60 微分信号的取值范围

这两个信号变化的斜率是不相同的，若取这两者中的一个作微分处理，得到的电压不能真实地反映磁头的速度，而必须在不同区段取不同的信号进行微分，然后衔接起来，最后才能形成正确的速度反馈信号。在WREN-9415中，根据状态信号“Q>50”和“Q<50”，将“E－O”信号分为四个区域。在第一个区域内“E-O”信号的斜率为正，且有良好的线性，微分电路对“E-O”信号进行微分在第二区内“E-O”信号斜率由正变负。且非线性严重，不能再对“E-O”进行微分而改为对QP微分；在第三区内，“E-O”信号虽具有良好的线性，但斜率变为负值，因此要将“E-O”信号反相，然后再微分，即对“O-E”信号微分；在第四区内则对“－QP”信号微分。最后将此四段微分信号拼接起来，就可获得光滑的速度反馈信号。由于“QP”的斜率比“E-O”的斜率小一倍，因此对不同区间微分后的信号增益要作适当设置，以免拼成的速度反馈信号有突跳。微分电路输出的速度反馈信号，作适当的极性处理之后送到主通道求和放大器，构成速度控制回路。完成上述微分及信号转接的电原理图见图9-61。在第一区内，“E-O”的绝对值小于门槛参考电平，电压比较器U1(LM339)的13、14脚都为低电平，使模拟开关U2(14066)9.10两脚处于开路状态。在这种情况下，加于电压比较器U1的4、6两脚的参考电压约为2.48V，而状态信号“Q<50”为5V高电平，“Q>50”为低电平，所以比较器的输出端2脚为低电平，1脚为高电平，使模拟开关3脚与4脚相通，“E-O”的微分信号得以通过。在第二区内，“E-O”的值大于门槛参考电平，电压比较器U1的输出端14脚为开路高电平，而“O-E”为负值，使电压比较器的输出端13为低电平。在这种情况下，二极管CR1导通，CR2截止，电压比较器4和6脚加有6.1V的参考电压。不管“Q>50”与“Q<50”两状态信号处于何种电平状态，比较器U1的2和1脚都为低电平，因此封锁了“E-O”和“O-E”两微分信号的输出通路。由于模拟开关的“使能”端的13、5、6脚都为低电平，只有12脚为高电平，故只有QP的微分信号得以通过。根据同样的分析方法可知，在第三区域内只有“O-E”的微分信号才能通过模拟开关，在第



LM339 —电压比较器
14066—单路模拟开关
LM308 —运算放大器

图9-61 速度反馈信号产生电路

四区域只有“－Qp”的微分信号可以通过。这样就能获得与磁头运动速度成比例的电压。

闭环控制的磁头定位系统有速度控制和位置控制两种工作模态。WREN—9415硬盘机的磁头定位过程也有这样的特点。当硬盘控制器发出步进脉冲和步进方向的信号被单片机8749接收之后，硬盘机开始找道。在此期间，计算机由端口1(Port1)送出字长为7位的二进制速度指令信号到数模转换器(D/A)。数模转换器输出的速度指令信号不能直接送到求和放大器，必须对它的极性及大小范围作适当的变换，以适应不同道差、不同方向的找道。图9-62的电路具备这些功能。在寻找目的磁道时，单片机根据要寻找的道数及找道的方向送出三个信号：“前进(Forward)”“高速(VCHI-Volocity High)”和“低速(VCLO-Velocity LOW)”。当目的道号大于现行道号时，“Forward”信号为高电平，表示磁头由低道号移向大道号；反之则为低电平，磁头运动方向相反。由图9-62可看出：“Forward”为低电平时，模拟开关U4的2脚与15脚接通，使运算放大器U2的5脚通过电阻R6接“地”作为倒相器。而“Forward”为高电平时，模拟开关U4的1脚与15脚接道，U2的5脚通过电阻R_6接到U1的输出端，作为跟随器，输出不倒相。用这样的方法就可使速度指令信号具有正确的极性。当要找道的磁道数小于256道时，“VCHI”为低电平，“VCLO”为高电平，速度指令信号将通过电阻R_7(196kΩ)加到求和放大器。当要找的道数大于256时，“VCHI”为高电平，“VCLO”为低电平，速度指令信号将通过R_8(21.5KΩO)加到求和放大器，使磁头以比较高的找道速度移向目的道。在找道过程中，图9-61所示的微分电路，产生与磁头速度成比例的电压作为反馈信号与速度指令信号相减，用其差值控制磁头的运动。

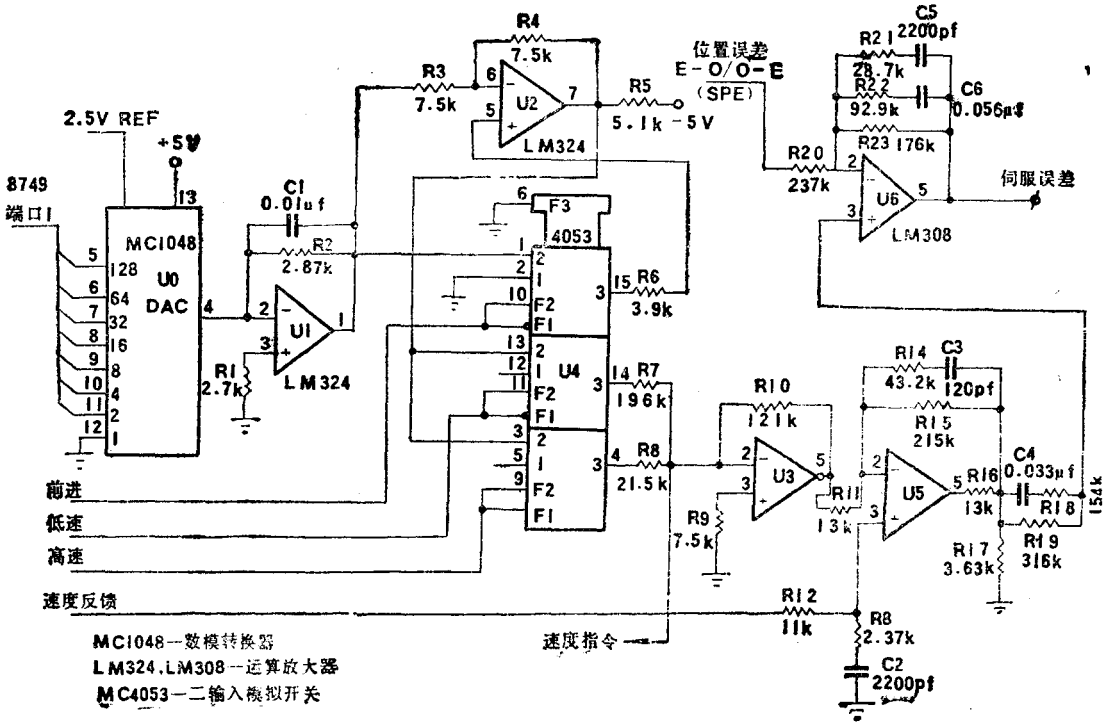


图9-62 速度指令信号的产生及伺服信号综合

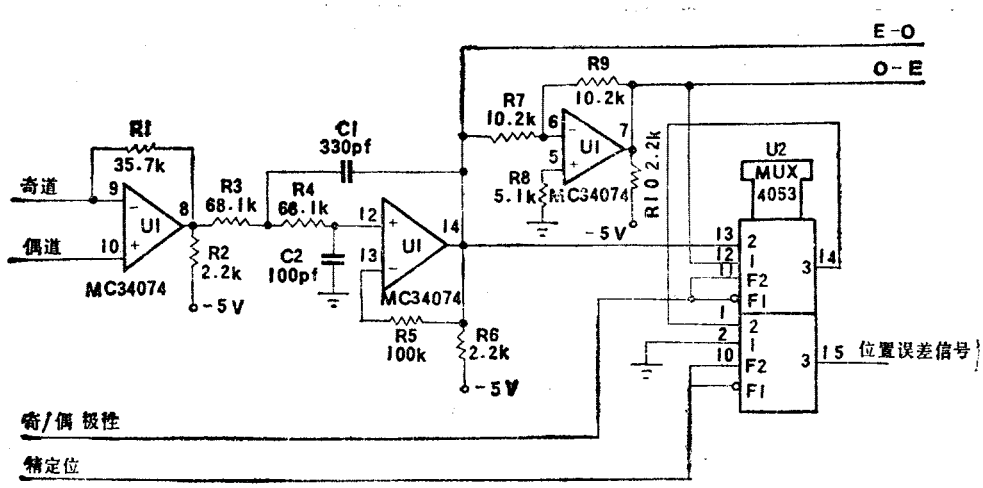


图9-63 位置误差信号形成电路

当磁头到达目的磁道时，单片微机发出精定位控制信号“精定位”(FINE)(见图9-63)和表示目的磁道特征的“ODD/EVEN”状态信号。前者为低电平时，表示工作于速度控制模态，为高电平时表示工作于位置控制模态；后者为高电平时表示磁道为奇磁道，低电平时为偶磁道。在位置控制模态时，控制速度指令信号大小范围的“VCHI”和“VCLO”都为低电平，切断了速度指令信号到求和放大器的道路。在“FINE”信号的作用下，将位置偏差信号“E-O”引入到求和放大器，作为位置控制回路的输入信号(图9-63)。因为位置偏差信号“E-O”在奇、偶道时极性刚好相反，为保证位置控制回路是负反馈，在“ODD/EVEN”信号的作用下，通过模拟开关的转换，在奇道时以位置偏差信号“E-O”作为反馈信号，而在偶道时，以“O-E”作为位置反馈信号。

为保证定位系统有良好的动态性能及防止音圈电机谐振，控制回路的主通道中还有一些滤波电路和校正网络。在这里，就不再详细介绍了。

伺服面控制的闭环磁头定位系统，由于磁头位置信号是刻写在伺服盘片上的，而伺服盘片与数据盘片同轴，检读伺服信息的伺服磁头和数据磁头共用一个转臂，因此能大大地减小热膨胀、机械磨损等因素对磁头定位精度的影响，使磁头位置精度能达到1μm以下的数量级，道密度可达到1200TPI。另一方面，采用了闭环控制之后，大大缩短了找道时间，使精确性和快速性得到较好的统一。采用这种定位系统的硬盘机，在制造时，伺服面信号是利用十分精密、复杂的伺服信号刻写装置预先写在伺服盘片上的。一旦该信号遭到破坏，硬盘机就无法正常工作，且只有原先的生产厂家才能使伺服面信号恢复，这给维修工作带来很大的困难。随着伺服面信号刻写技术的成熟，以及伺服信号解码电路的集成度的提高，伺服面定位系统已广泛地用于非格式化容量在50MB以上的各类5.25英寸硬盘机中。

四、“00”道信号的产生

“00”道是硬盘机的数据磁道的起始磁道，对磁道计数及寻找新的磁道，起参考位

置的作用。在5.25英寸硬盘机中，“00”道除作上述用处之外，还在该磁道上记录操作系统文件，用户文件目录以及登记坏磁道表格，因而“00”道在使用中有特别重要的作用。为标记出“00”道，在硬盘机中设置了“00”道位置传感器，以便向硬盘控制器送出表示“00”道的“TRK00”信号。

“00”道信号是一种非“0”即“1”的开关信号，只要能发生两种状态转换的位置传感器都可用来敏感“00”道的位置。在5.25英寸硬盘机中常用的“00”道传感器有三大类，它们是光电传感器，簧片开关式传感器及伺服盘传感器。下面将分别予以说明：

1. 开关簧片式“00”道位置传感器

这是一种产生“00”道位置信号最简单的装置，簧片及触点都固定在驱动磁头的转臂上，当磁头处于“00”道位置时，固定在底座上的顶尖使簧片与触点闭合，给出“00”道信号。磁头在其他数据磁道位置时，顶尖脱离簧片，依靠簧片本身的弹性，触点脱开，“00”道信号消失。

对于道密度为360TPI的10MB的硬盘机，道间距约为0.07mm。这就意味着，若在“00”道时，簧片触点是闭合的，磁头向前移动一个磁道后，触点应脱开，这样“00”道信号才正确。要达到如此高的分辨率，对簧片触点开关而言是很难做到的。即使通过精细的调整，勉强能做到的话，但要保证其长期可靠地工作也是不可能的。因此通常将簧片触点开关的输出信号与控制步进电机的相序信号综合起来，只有同时满足了簧片触点已闭合，控制步进电机的信号对应于“00”道的相位两个条件时，才送出“00”道信号。图9-64是SA712温式磁盘机形成“00”道信号的电原理图。由单片机输出的控制步进电机的信号A和C，在“00”道时，同时为高电平，而在其他磁道时，A和C两者之中必有一个为低电平。与门74LS09和电压比较器都是开路门输出的TTL器件。只有“00”道开关闭合，A、C同时为高电平时，“TRK0”信号才是高电平，表示磁头处于“00”道；否则“TRK0”为低电平，表示磁头离开了“00”道。

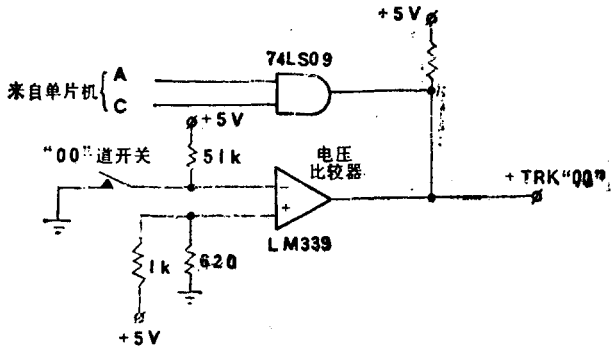


图9-64 SA712型硬盘机的“00”道信号产生电路

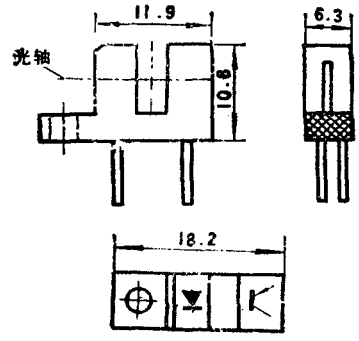


图9-65 光电式“00”道传感器外形图

2. 光电式“00”道位置传感器

光电式“00”道位置传感器含有红外线发光二极管和受光管，按图9-65的方式配置。当发光管发出的光线能到达受光管时，将输出一定大小的光电流。若用外来物遮断了发光管到受光管的光线通路，则光电流截止。用光电转换器作“00”道位置传感器时，转换器固定在头盘组件的底座上，遮光片与步进电机的转轴相连或与驱动磁头的

转臂相连。安装位置应调整得在磁头处于“00”道和“01”磁道时，光电流截止，在其它位置时光电流导通。为产生真正的“00”道信号，同样要与步进电机的相序控制信号相“与”，保证只有步进电机处于“00”道相序的控制状态，以及“00”道位置传感器输出有效时，才产生“00”道信号(TRK0)。图9-66是ST412硬盘机的“00”道信号形成电路。单片机6500/1的18脚输出的步进控制信号，在“00”道时，为低电平，在1～5道时一直保持高电平(见表9-6)。39脚为单片机的清零端(Reset)，正常工作期间一直为高电平。因此与门7408的8脚的电平代表“00”道的相序状态。当磁头在“00”道时为低电平，偏离“00”道位置时，将转为高电平。“00”道位置传感器在“00”道附

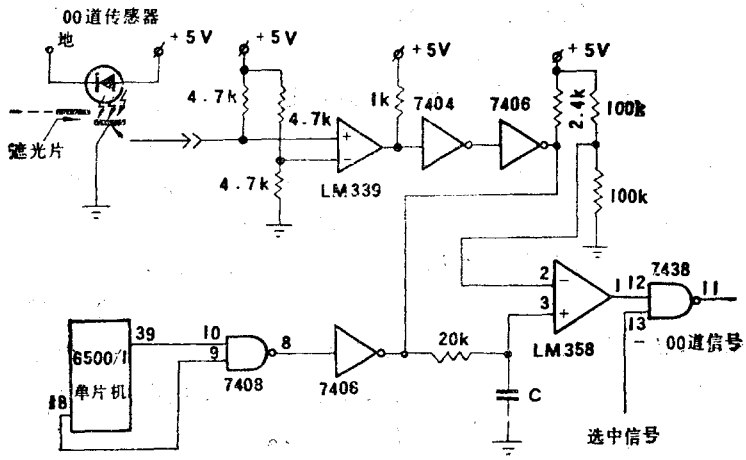


图9-66　ST412硬盘机的零磁道信号产生电路

近不产生光电流，电压比较器LM339输出高电平；而它在其它位置时有光电流，比较器输出低电平。这两路逻辑电平信号经开路门反相器7406“线或”之后，将产生正确的“00”道信号。

3．伺服面“00”道传感器

利用弹簧触点开关或光电转换器作“00”道位置传感器时，一方面增加了结构的复杂性，另一方面需作专门的调整，使在大批量生产中无疑增加了成本。因此，不少厂家力图不用零磁道传感器，而预先在盘片上刻写某种格式的信号，利用单片机控制的灵活性，产生“00”道信号。例如Seagate公司生产的ST225型20MB的半高硬盘机，在四个盘面的“－1”道上写有某种格式的信号。在初始化阶段，固化的程序使磁头移到“－1”道，读出预先写上的信号，经处理后，送到单片机，使磁头再向前移动1道；同时将单片机的磁道计数器清零，并通过端口输出“00”道信号。在正常找道过程中，若磁道计数器的状态不为零时，表示磁头偏离了“00”道；若为零时，则表示磁头回到了“00”道位置，“00”道信号将变为有效。

对于利用伺服面或索引伺服区定位的硬盘机，因为将盘片分成了内、外保护区和数据区，在初始化阶段，伺服磁头检测到外保护区信号时，再前进一道，就将单片机中的磁道计数器清零，送出“00”道信号。

利用盘面上预先刻写好的信号产生“00”道信号可提高产品的可靠性、降低生产成

本，所需增加的解码电路，亦不很复杂，因此是一种较好的方法。

第五节　硬盘机接口

硬盘机是计算机的外存储设备，两者之间不仅是简单的数据交换，还必须在某种规定的约束之下，有机协调地工作。也就是说，计算机在向硬盘机存取数据之前，必须查询硬盘机的工作状态，发出相应的命令，硬盘机也必须将执行命令后的状态变化及时通知主机。因此硬盘机与主机之间除数据交换外，还有控制命令及工作状态的通讯。为保证无误地完成数据交换，硬盘能接受什么样的控制指令，主机又需什么样状态信息，这都必须在组成系统之前预先规定好。这种人为的规定就是硬盘机与主机打交道的接口的含义。

当人们想要在自己的微型计算机系统中装入硬盘机或要扩充系统的存储容量时，首先遇到的问题是选择什么样接口的硬盘机才适合于自己的系统。因此了解硬盘机接口信号及特点，对系统设计者是必不可缺少的。对于计算机系统的硬件维护者而言，有助于诊断系统的故障，尤其对硬盘机工作状态的判断更是如此。

随着计算机应用的日益广泛，对硬盘机的接口要求也愈来愈高，一些生产厂家和公司为适应这种需要，开发了各种各样的硬盘机接口，例如：ST506/412接口、ESDI接口、SCSI接口、SMD接口、IPI接口和ISI接口。上述接口有些已为绝大多数厂商接受成为标准的工业接口；有的尚在完善和发展之中；有的正由美国ANSI在审定。下面只介绍在当前微型计算机系统中用得较多的三种接口。

一、ST506/412硬盘机接口

ST506/412硬盘机接口是由 Seagate 公司开发并首先用于 ST506 型硬盘机。随着多种硬盘机的大量涌现，制造商和广大用户都希望能有一个统一的标准接口，避免象8英寸硬盘机那样，各自为政，缺乏统一的标准，给生产和使用带来很大的不便。而 ST506/412 接口捷足先登，出现时间最早，又能满足使用要求，自然使以后一些制造商向此接口靠拢，使ST506/412接口成了标准的工业接口。当前微型计算机中使用的从 5MB 直到 100 MB 的硬盘机，绝大部分都采用这种标准接口，甚至象 MAXTOR 公司生产的读写磁头为 15个，道数为 1024，非格式化容量为 191MB的 XT-2190 型大容量的 5.25 英寸硬盘机，仍采用这种接口，可见这种接口是有相当强的生命力。可以预见在今后数年内，ST506/412接口仍将在微型计算机使用的硬盘机中占统治地位。

ST506/412硬盘机标准接口的特点是：

① 硬盘机应有三个电缆连接插头，第一个为34线的命令电缆印制插头，第二个为20线的数据电缆印制插头，第三个是四线直流电源插头；

② 数据传输率为5兆位/秒，每道的存储容量为10416字节，每位数据的位元长度为200ns；

③ 磁盘机输出的数据是未经分离的MFM制读出数据脉冲，写入的数据也是MFM制的数据脉冲；

④ 减少写电流的控制命令，由控制器发出时，最多只能选择8个磁头。若将减少写

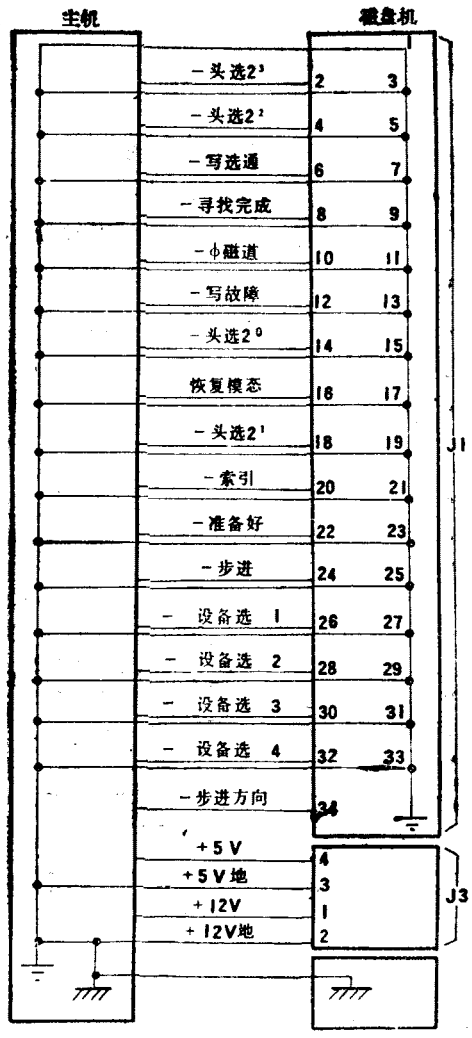


图9-67 ST 506/412接口命令及电源电缆连接图

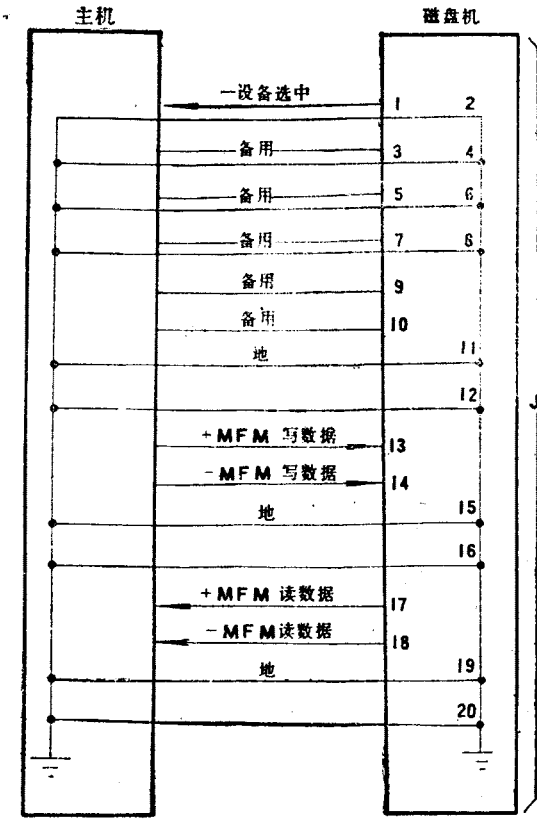
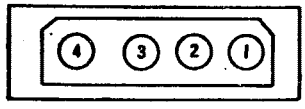


图9-68 ST506/412接口信号电缆连接图



插针号	电源
1	+12V
2	+12V的地
3	+5V的地
4	+5V

图9-69 ST506/412接口的电源插座

电流的控制作用移到硬盘机内部，而把这根“减少写电流”信号线改为头选线用，则可选择16只磁头。这种接口的命令电缆和数据电缆传送的信号及与硬盘控制器的连接见图9-67和图9-68。

下面对各信号加以简单说明

1．电源

硬盘的电源由主机通过一只四芯的矩形插座供给（图9-69），只需要+5V和+12V两种直流电源。

2．输入控制命令

输入控制信号分两类：一类是靠多路传输控制信号选通的控制命令信号，它们

是："写选通(Write Gate)"，"头选2^0(Head Select2)"，"头选2^1(Head Select 2^1)"、"头选2^2(Head Select2^2)"，"头选2^3(Head Select2^3)*"、"步进方向(Direction In)"和"步进脉冲(Step)"；另一类是起多路传输选通作用的，它们是："设备选1(DS1: Drive Select 1)"，"设备选2(DS2: Drive Select 2)"，"设备选3(DS3: Drive Select3)"，"设备选4(DS4: Drive Select 4)"。这两类控制信号都是低电平有效，电平为0～0.4V；当为高电平时为2.5～5.25V。

(1) 头选2^0、2^1、2^2、2^3(Head Select2^0、2^1、2^2、2^3)这四个信号以二进制编码的方式使硬盘机的读/写磁头能分别被选中。2^0对应着最低位，2^3对应着最高位。当这四个信号全为高电平时，选中0#磁头；当四个信号全为低电平时，选中第15#磁头。因此有了这四只选头命令传输线，最多可选十六只磁头。

(2) 写选通(Write Gate)

该信号为低电平时，若硬盘机已处于找道完成状态，又无写故障，则能使数据写入硬盘机中。当该信号为高电平时，能使硬盘机的数据读出，也能使磁头在步进脉冲的作用下移动。写选通与头选信号及写/读数据之间的时序关系见图9-70。

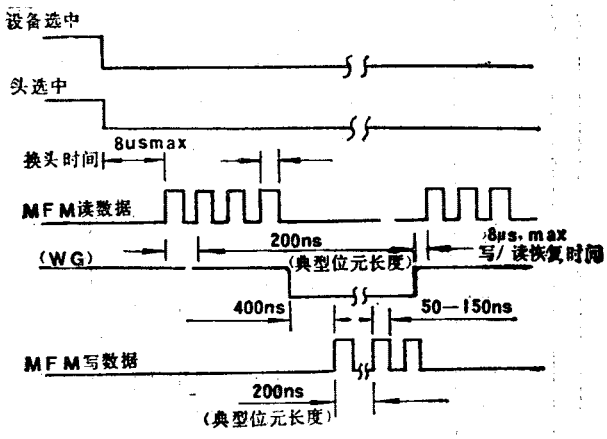


图9-70 头选信号、读/写数据及写令时序图

(3) 步进脉冲(Step) 步进脉冲是使磁头移动的串行输入负脉冲。脉冲的最小宽度为500ns；脉冲的个数代表磁头应移动的磁道数；脉冲的间隔确定了硬盘机的找道方式。当脉冲间隔为10μS～200μS时，硬盘机按缓冲方式找道；当脉冲间隔大于3毫秒时(根据不同类型的硬盘机和系统的要求对该间隔还会有所不同)，按一般找道方式找道。

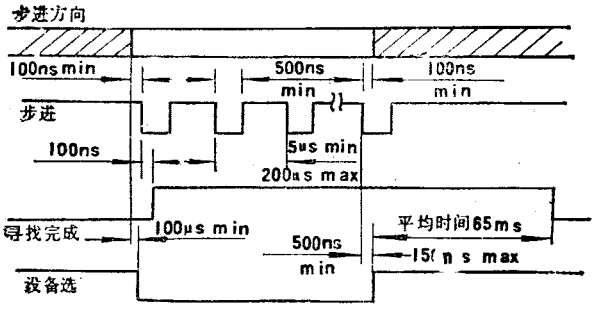


图9-71 步进方向与步进脉冲间的时序

(4) 步进方向(Direction In) 该信号为低电平时，代表磁头移向内磁道，高电平时移向外磁道。在步进脉冲第一个下降沿之前100ns，该信号的状态转换就应稳定。步进脉冲与步进方向之间的时序关系见图9-71。

(5) 设备选(DS1-DS4) 硬盘机的主电路板上有四只供用户设置的硬盘机号选择跨接线(Jumper)或微型多排开关，分别对应着由硬盘控制器来的DS1、DS2、DS3和DS4四根

注：*当"减少写电流"的控制信号需由硬盘控制器提供时，"头选2^3"应改为"减少写电流"。

设备选命令线。只有这四只跨接线中的一只接上时(或微型开关的对应位合上时)，才能使控制器选中该台硬盘机，并接收输入命令。

3．输出信号

输出信号有“设备选”(Drive Selected)、“00”道信号(TRK“00”)、“准备好”、“找道完成”(Seek Complete)、“索引脉冲”(Index)和“写故障”(Write Fault)等。作为硬盘机的工作状态信号送到硬盘控制器，它们都是低电平有效。

(1) 设备选中(Drive Selected) 当代表硬盘机台号的跨接线已接好(或开关合上时)，主机通过控制器发出了对应于硬盘机台号的选择信号(DS1～DS4中的一个为低电平)，则该信号为低电平，表示该台硬盘机已接入系统并被认可，能接受输入控制命令；也能将工作状态作为输出信号，通过控制器送到主机。

(2) 索引脉冲(Index) 这是一系列周期为16.67ms的负脉冲，主轴电机每转一周产生一个，作为每条磁道的起始参考点，以脉冲的下降沿为有效。

(3) “00”道信号(Track“00”)磁头处于“00”道位置时，该信号有效。这是一个使硬盘机在微型计算机系统中能正常工作的很重要的状态信号。

(4) 准备好(Ready) 硬盘机加电启动后，满足以下四个条件时，该信号才有效：

① 主轴转速达到额定值，并在允许的范围内波动；

② 磁头定位于“00”道；

③ 硬盘机初始化自检测通过；

④ 直流电源的电压满足要求。

当该信号为低电平时，与找道完成信号一起，向主机报告硬盘机已准备好接收读、写或步进的命令。当该信号为高电平时，读、写或步进的操作都一概禁止，硬盘机不能进入系统。

(5) 寻找完成(Seek Complete) 当读/写磁头到达目的磁道且稳定后，该信号为低电平，主机可通过控制器，命令硬盘机进行读、写或寻找新磁道的操作。

(6) 写故障(Write Fault) 在硬盘机被选中的条件下，当可能破坏盘片上的有用信息或硬盘机不能正常工作时，该信号为低电平，系统对该台硬盘机失去控制能力。要恢复正常，必须消除产生故障的条件，并进行系统总清零。产生“写故障”的条件随不同硬盘机的设计而稍有差别，一般有下列情况时，产生写故障信号：

① 同时选中两只以上的磁头(多头选)；

② 无写令有写电流；

③ 有写令时无写电流；

④ 找道未完时进行写操作等。

4．读/写数据

ST506/412接口中的20芯电缆除传输“设备选中”TTL电平状态信号外，就只传输一对MFM制的写数据脉冲和一对MFM制的读数据脉冲。这两对数据都采取差动形式，以提高共模拟制能力。

5．硬盘机在系统中的配置方式

具有ST506/412接口的硬盘机，在微型计算机系统中根据控制器结构不同，有两种接法：一种如图9-73的菊链连接(Daisy Chain)；一种是星形接法(如图9-72)。两种连接方式能控制的硬盘机，最多都是四台。菊链连接法的特点是，必须对各台硬盘机要

编上1～4的台号，根据命令电缆上DS1～DS4的电平状态，同一时刻只有其中的一台硬盘机被选中。在以菊链方式连接的几台硬盘机中，除最后一台，其余各台的220/330Ω终端匹配电阻都要除去。星形接法中的各台硬盘机同样要编上1～4的台号，每台硬盘机只响应自己命令电缆上传送的控制指令，因此每台硬盘机上的终端匹配电阻都要保留。星形接法在系统操作时稍方便一些。

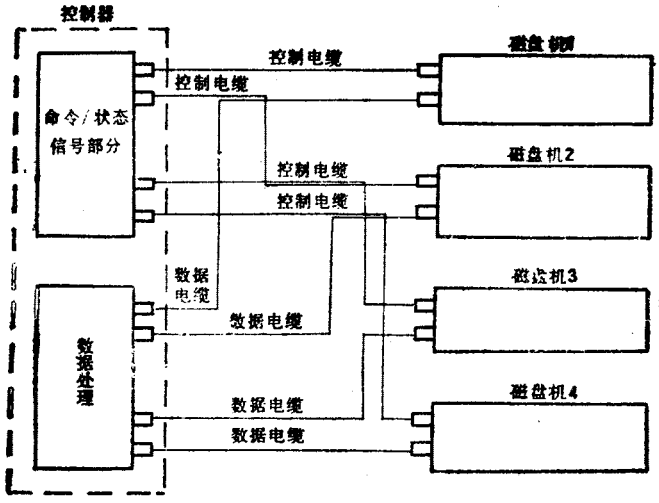


图9-72 星形连接图

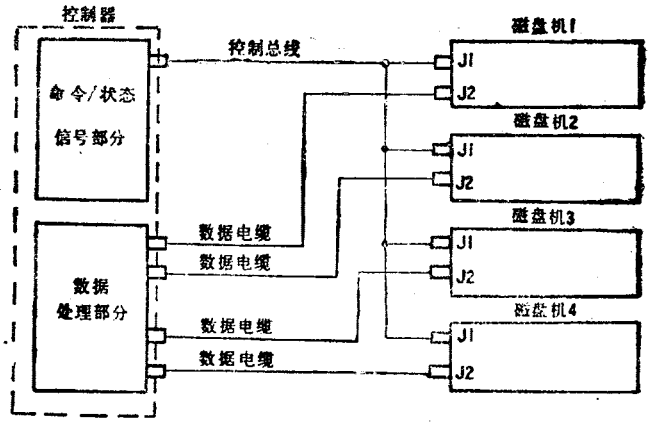


图9-73 菊链连接图

6．接口信号的发送、接收及匹配

由控制器向硬盘机发送的命令信号及接收硬盘机向主机报告的状态信号都是单端输出/输入的TTL电平信号。发送时，采用7438型开路与非门输出，最大灌入电流为48mA；接收时用7414型带施密特触发器功能的反相器(或类似功能的器件)，并用220/330Ω的终端匹配电阻(图9-74)。

ST506/412接口上的写数据和读数据是双端对称差动式，采用如图9-75的接收和发送方法。

7．ST506/412接口的不足之处

虽然ST506/412接口是当前硬盘机的主流接口，但随着硬盘机制造技术的飞跃发展及计算机系统对硬盘机数据传输率和存取速度愈来愈高的要求，ST506/412接口已逐渐暴露出一些不足之处。首先，当前对硬盘机的容量要求愈来愈高，高达382MB的

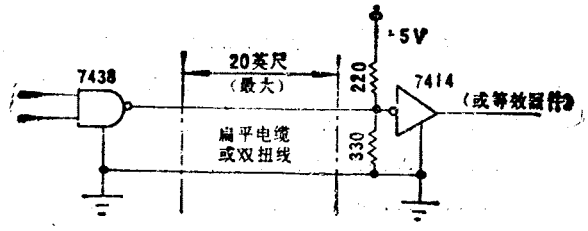


图9-74 单端命令/状态信号的发送与接收

产品已经商品化。如仍用 ST506/412接口，因数据传输率只有5兆位/秒，无法适应传输率达 10 兆位/秒甚至更高的高性能硬盘机的需要。其次，ST506/412接口输出的读数据是未经分离的MFM制编码脉冲，需送到硬盘控制器进行数据分离。在电缆传送过程中，由于分布电容、分布电感及阻抗匹配方面的种种原因，会使传送的脉冲失真和移位，甚至丢失，给信息的恢复和补偿带来一些不可靠因素。于是出现了比 ST506/412 性能更好，适应性更强的ESDI和SCSI接口。

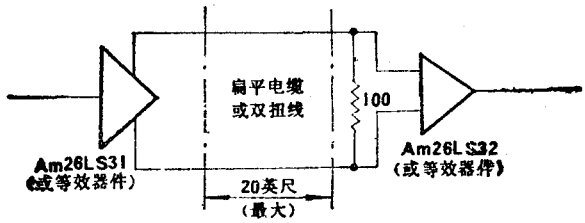


图9-75　双端信号的接收与发送

二、ESDI接口

ESDI接口 (Enhanced Small Disk Interface) 是由美国 Maxtor, Shugart, CDC 和 XEBEC 等公司联合设计开发的。它吸取了 ST506/412 和其他一些非标准接口的优点，使其更适合于大容量的硬盘机的工作。ESDI 接口有三个特点：

(1) 具有浮动的数据传输率，即传送数据的速率随硬盘机的数据处理速度而变，速率从低于5兆位/秒到 10 兆位/秒，乃至传输率为 15 兆位/秒数据都可由此接口传送。因此当硬盘机采用先进的 2，7RLL 编码或提高存储密度使传输率增加时，对控制器而言是透明的，满足了系统使用大容量硬盘机需提高数据传输率的要求。

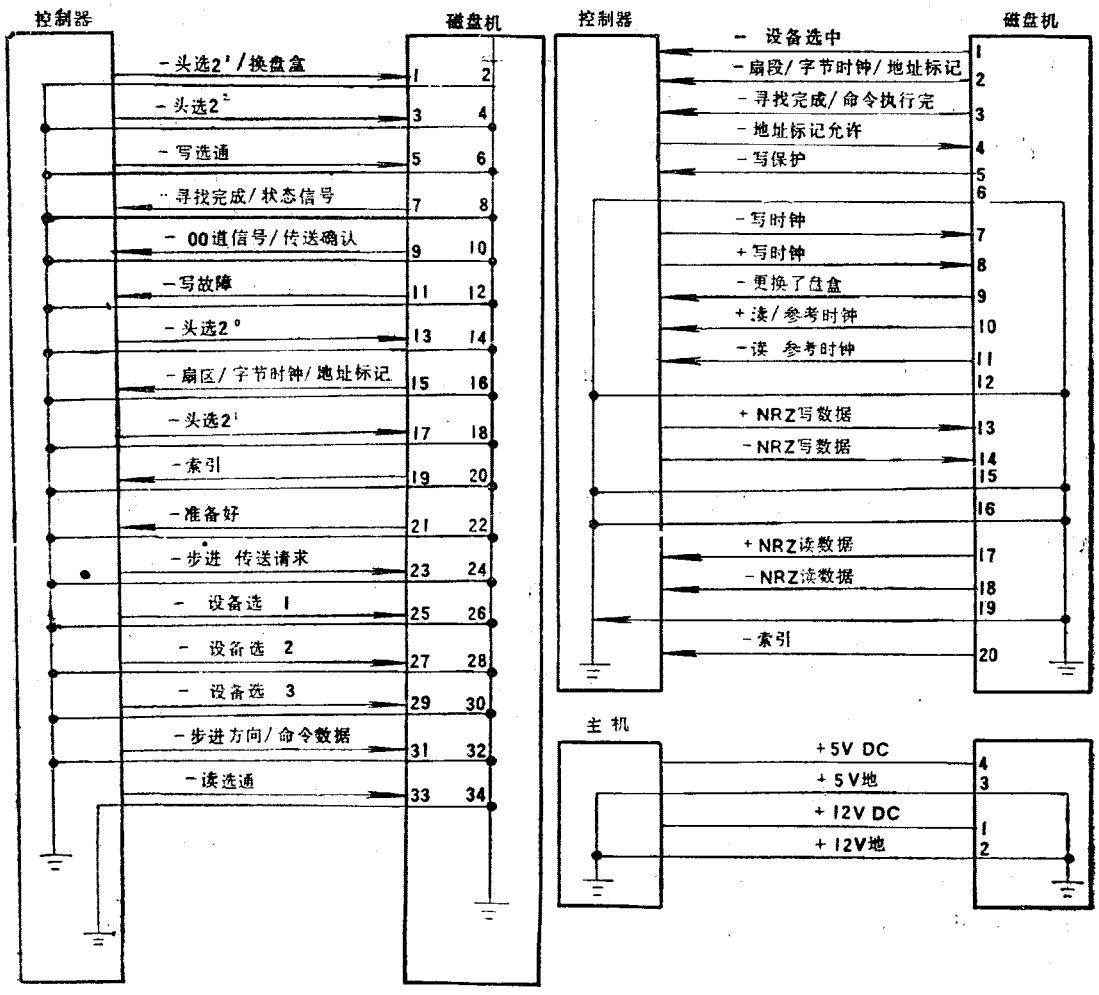
(2) 数据的编码和译码不再在控制器板上进行，而改由硬盘机承担，这样给硬盘机设计者更多的灵活性，也使控制器不受数据编码方式的约束。尤其将读出数据解码、数据锁相和分离的功能放到硬盘机内部后，能使数据分离电路更好地与盘片、磁头、以及读信号处理电路匹配，避免了电缆传输中产生的许多干扰，提高了数据恢复的可靠性。

(3) ESDI 接口有两种工作方式，一是普通的步进工作方式，控制功能与ST506/412类似；另一种是串行工作方式，依靠发送16位字长的命令字，能使具有智能特性的硬盘机执行磁头找道，出错修正，自检诊断及状态信息输出等操作，大大地提高了系统的性能及灵活性。

图9-76和图9-77是 ESDI 接口的命令电缆和数据电缆传送的信号。在步进工作模式时，大部分命令信号与 ST506/412接口都是一致的，只是增加了一些信号。数据电缆上的信号差别较大，读、写数据都已改成不归零制 (NRZ) 编码数据，另外还有 ESDI 接口特有的各种信号。下面对这些信号的功能加以简单的介绍。

(1) 原先ST506/412接口中的“减少写电流(Reduce Write Current)”传输线上的信号，对固定式硬盘机已改为“选头2^3 ($HS2^3$)”，对可换盒式硬盘机改为“盒式盘装卸(Cartridge loading)”信号。

(2) 扇区/字节时钟/地址标记发现(Sector/Byte Clock/Addres Mark Found)：在不同类型的数据处理时有不同的用处。对于硬分段的硬盘机，“扇区”信号和“字节



(a) ESDI 接口命令电缆连接　　(b) ESDI 接口数据和电源电缆连接

图9-76　ESDI接口电缆连接图

时钟”信号用来作为扇区的开始标志；对软分段的硬盘机，“地址标记的发现”和“字节时钟”信号表示扇区的ID头标区数据的开始。

(3) 读选通(Read Gate)：该信号有效时，允许硬盘机作数据分离，并将NRZ数据传送到控制器。

(4) 地址标记允许(Address Mark Enable)：该信号要与写选通信号配合起来使用，当写选通有效时，表示写地址标记，当写令无效时表示寻找地址标记。

(5) 写保护(Write Protected)：表示所选中的硬盘机是否处于写保护状态。

(6) 盘盒更换(Cartridge Change)：该信号用来告知控制器在更换盘盒(适用于可换式硬盘机)。

(7) 读/参考时钟(Read/Refrence Clock)：硬盘机与控制器之间作串行数据传递时，该信号作为同步定时信息。

ESDI接口的串行工作方式是由控制器发送16位字长的命令到硬盘机，充分利用硬盘机的智能功能，实现主机与磁盘机之间“直接对话”。具有智能性质的温式磁盘机正处于开发阶段，可以预见，不久的将来，ESDI接口的串行运行功能将得到充分的发挥。

三、SCSI接口

在硬盘机系统中，还采用另一种SCSI接口(Small Computer System Interface)。这种接口的前身是Shugart公司推出的SASI接口。其本质是采用了IBM公司提出的I/O通道结构方式，使一台智能外设能在单一总线上与多台主机进行通信。美国国家标准学

表9-8(a) SCSI接口信号按差分形式传送的接线表

信号	插头脚号	信号	插头脚号
SHIELD GROUND	1	TERMPWR	26
GROUND	2	GROUND	27
+DB (0)	3	GROUND	28
−DB (0)	4	+ATN	29
+DB (1)	5	−ATN	30
−DB (1)	6	GROUND	31
+DB (2)	7	GROUND	32
−DB (2)	8	+BSY	33
+DB (3)	9	−BSY	34
−DB (3)	10	+ACK	35
+DB (4)	11	−ACK	36
−DB (4)	12	+RST	37
+DB (5)	13	−RST	38
−DB (5)	14	+MSG	39
+DB (6)	15	−MSG	40
−DB (6)	16	+SEL	41
+DB (7)	17	−SEL	42
−DB (7)	18	+C/D	43
+DB (Parity)	19	−C/D	44
−DB (Parity)	20	+REQ	45
DIFFSENS	21	−REQ	46
GROUND	22	+I/O	47
GROUND	23	−I/O	48
GROUND	24	GROUND	49
TERMPWR	25	GROUND	50

表9-8(b) SCSI接口信号按单端方式传送的接线表

信　　号	插头脚号	信　　号	插头脚号
−DB (0)	2	GROUND	28
−DB (1)	4	GROUND	30
−DB (2)	6	−ATN	32
−DB (3)	8	GROUND	34
−DB (4)	10	−BSY	36
−DB (5)	12	−ACK	38
−DB (6)	14	−RST	40
−DB (7)	16	−MSG	42
−DB(Parity)	18	−SEL	44
GROUND	20	−C/D	46
GROUND	22	−REQ	48
CROUND	24	−I/O	50
TERMPWR	26		

注：所有奇数的插头脚号都接地(GROUND)。

会(ANSI)于1983年根据Shugart公司的申请，审定了SASI接口，正式定名为SCSI，公布了其接口标准。

确切说来，SCSI接口并不是真正的硬盘机接口，而是一种处于主机适配器与智能控制器之间界面上的统一的I/O接口总线。近年来，随着硬盘机系统的发展及硬盘控制器大规模集成电路的开发，具有SCSI接口功能的控制器已不很复杂，使硬盘机和控制器能组成具有智能特征的子系统，可以通过SCSI接口电缆直接与主机进行各种信息交换。因此，习惯上仍将这种总线接口当成一种硬盘机的接口。

SCSI接口的全部信号通过一根50芯的扁平电缆传送，其中包括九根数据传输线和九根控制命令及状态线（表9-8）。这种接口的操作时序简单，并具有总线仲裁功能，为多主机，多外设子系统的配置创造了条件。利用SCSI接口构成的系统有三种：单主机－单控制器结构；单主机－多控制器结构；多主机-多控制器结构。三种系统的结构框图见图9-77。

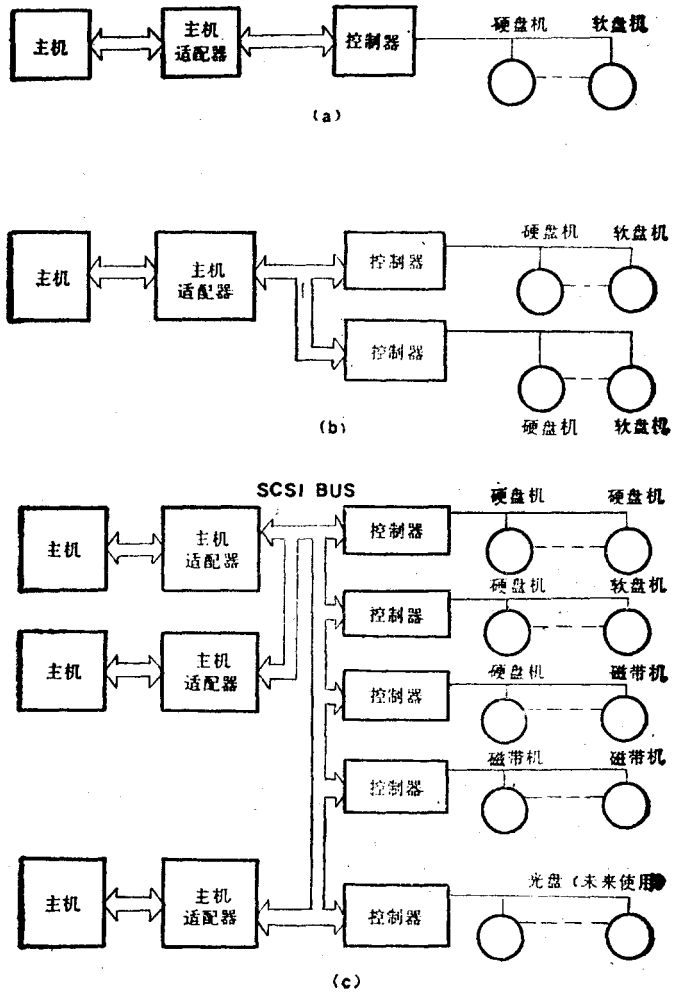


图9-77 SCSI接口的系统组成方案

第十章　常用硬盘机

我国的硬盘机制造业尚处于幼年阶段、满足不了计算机发展的需要。国内各类微型计算机系统中配置的硬盘机绝大多数为美国、日本各公司的产品，型号较多。在IBM PC/XT及其兼容机系统中，硬盘机多为格式化容量10MB～20MB5.25英寸的全高和半高温式磁盘机。常见的型号有ST412、Miniscribe2012、IMI5012、SA712、ST225及HH725等。高档微型计算机中配置的硬盘机多在30MB以上，如ALTOS、68000等微型计算机中的硬盘机是Q540。Z8000微型计算机系统中的硬盘机为Micropolis1323A。下面将对一些常用硬盘机的参数，特点作简要介绍，供用户在使用与维修时参考。

第一节　IBM PC/XT中几种硬盘机

由于IBM PC/XT微型计算机系统中的硬盘机种类多且杂，很难将各种产品的性能参数及结构特点一一列举，本节将简单介绍以下几种用得较多，结构上颇具有代表性的产品。

一、ST412硬盘机

ST412是美国Seagate Technology公司较早推向市场的5.25英寸全高温式磁盘机、格式化存储容量为10MB，它所采用的接口已成为为当前硬盘机的标准工业接口，它的性能参数见表10-1。该产品有如下的特点：

(1)使用Rockwell公司生产的单片机6500/1(含2K容量的PROM)作为控制核心，它主要用于磁头位置控制，主轴电机速度的监测，硬盘机状态信号的输出控制等。

(2)驱动磁头的步进电机是两绕组的。利用组合三极管构成的驱动电路对其作双向激磁控制，每八步一个循环。磁头通过钢带转臂机构由步进电机驱动。

(3)“00”道传感器是光电转换式的，装在HDA外部的步进电机的转轴上，可在外部对其位置进行适当的调整。

(4)主轴电机稳速电路装在一块单独的电路板上，利用电压比较法进行闭环控制。通过一只电位器，可对转速的额定值作微量的调整。主轴电机是两相霍尔无刷直流电机，利用装在HDA外部的磁阻式传感器敏感其转速。传感器的内部装有信号放大电路，输出为TTL电平脉冲。

(5)在写选通有效时，选中磁头的中心抽头的电平约为+10V；读时，选中磁头中心抽头的电平约为+5V；不选中时，中心抽头接“地”。选头电路与读信号前置放大器作已成20脚的专用集成电路装在主电路板上。

二、Miniscribe 2012型硬盘机

2012硬盘机的格式化存储容量为10MB，是美国Miniscribe公司的产品，也是一种国

内使用较多的5.25英寸全高的硬盘机。其性能参数见表10-1，与其他同类产品相比，它具有以下特点：

(1)2012型硬盘机采用6803单片机作为控制核心。由于6803单片机没有内含 ROM，用2716EPROM(或PROM)作为6803的存储器，固化了协调硬盘机各项功能的微程序。在硬盘机加电工作期间，单片机具有三方面的功能：

①接收接口来的步进脉冲和步进方向信号，利用微程序变成驱动步进电机的控制信号。

②对转速不断进行检测，并输出转速误差信号对转速进行闭环调整。

③硬盘机的工作，一旦产生故障时，发出故障信号，使前面板上的指示灯按一定的规律闪烁。

(2)驱动磁头的步进电机是两相的，由型号为SAA1042的特殊步进电机集成电路驱动，每八拍一个循环。通过齿轮齿条传动机构步进电机的转动转变为磁头在盘面上的直线运动。“00”道传感器是光电式的，装在头盘组件内部。

(3)主轴电机为两相霍尔无刷直流电机。由单片机输出转速控制信号，经2074B 型组合达林顿三极管放大后，驱动主轴电机，使转速保持恒定。敏感转速的索引传感器是反射式光电传感器，装在主轴电机内部，输出的模拟信号经处理后变为TTL电平脉冲。

(4)在读/写电路中的选头、读出信号的前置放大及写电流控制等功能均由安装在HDA 内部的 SSI115 型硬盘专用读/写集成电路芯片承担。

(5)断电时为使主轴电机尽快停转，用继电器触点使主轴电机绕组短接而实行动态刹车。

三、SA712硬盘机

SA712 半高 5.25 英寸硬盘机的存储容量为 10MB，是美国 Shugart 公司的产品。图 10-1 是这种硬盘机的功能框图。该产品具有如下特点.

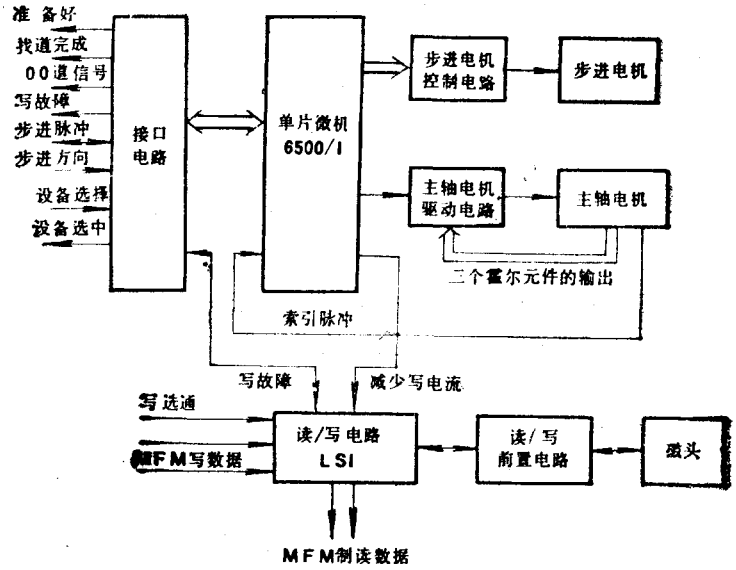
(1)电路中用的单片机是Rockwell公司的6500/1，采用前后台的工作方式，能完成转速检测与控制，磁头位置定位控制及形成硬盘接口状态信号。

(2)磁头定位用的步进电机是四相绕组的，由单片机通过驱动电路使其作两相激磁四拍运行。步进电机通过钢带及转臂机构，使磁头在盘片表面作弧形运动。产生“00”道信号的装置是开关簧片触点，当磁头向外移动到“00”道时，触点闭合，“00”道信号为 0V（接“地”），当磁头向内偏离“00”道时，触点脱开，“00”道信号被上拉成 +5V。

(3)读/写通道的选头与读出前置放大器已作成专用集成电路，直接焊在连接磁头绕组的挠性电缆上，并用环氧树脂加以固化。读出信号的检出，写电流的产生等都在一块专用芯片上，是Shugart公司的专用电路芯片。

(4)主轴电机是三相霍尔直流无刷电机，利用霍尔元件的输出进行换向控制，转速的大小由单片机通过主轴电机驱动电路实施闭环调节。测量转速的光敏元件是遮断式红外光转换器件，内中含有放大电路，直接输出具有 TTL 电平的索引脉冲。

(5) SA712 还采用了一块对输入/输出信号作逻辑转换的 I/O 专用芯片，以及电源故障检测电路。SA712 是较早推向市场的半高 5.25 英寸的硬盘机，其主要性能参数见



注：步进脉冲为输入信号

图10-1　SA712 硬盘机框图

表10-1。

四、ST225硬盘机

ST225半高5.25英寸硬盘机是美国Seagate公司1984年推向市场的产品。它的格式化存储容量为20MB，与该公司的ST412硬盘机相比较，在设计与结构上作了较多的改进，在同类产品中形成了与众不同的特点：

(1)ST225硬盘机中用6500/1单片机作为控制电路的核心(图10-2)。在加电初始化阶段，首先设置步进电机的初始控制相位，并使主轴电机启动。在主轴电机到达额定转速之后，执行磁头寻找“00”道子程序，使磁头按一定的运动方式移动到“00”道，一切正常后，给出“准备好”(Ready)“寻找完成”(Seek complete)，“00”道(TRK“00”)道信号和索引脉冲。

(2)磁头的驱动电机是两相步进电机，步距角为0.9°。电机的驱动电路是近几年已成为商品化的步进电机专用集成电路(MC11665-001)，它将单片机按道差大小及步进方向送来的间距不等的控制脉冲和表示方向的控制电平，转化为具有四个极性组合的两相绕组激磁电流，对步进电机作双相八拍运行的控制。ST225硬盘机中的数据磁道为615道，再加上一定数量的备用磁道，在磁头前后极限活动范围之内，步进电机的转角约为570°。若钢带采用一般的固定方式，会产生重叠缠绕现象，严重影响磁头的定位精度。为此，在ST225的钢带传动机构中，钢带的缠绕方向与步进电机的转轴不是90°，而有一定的斜度，这样可使钢带作螺旋式的多圈缠绕，不会形成重叠。此外，在摇臂结构尺寸的选择上，也充分考虑了各部份的互相补偿作用，使温度变化引起的热胀冷缩产生的不良影响能互相抵消。因此尽管道密度比ST412提高了近一倍，但仍可用步进电机确定磁头的位置，在环境温度为10℃～45℃的范围内，能满足使用要求。

(3)为提高读/写的可靠性，对步进电机增加了微步控制的功能。当读/写出错时，

表10-1 PC 中常用硬盘机的主要性能参数

型号		ST4L2	Miniscribe2012	SA712	IM15012	ST225	HH725
存储容量(非格式化)	总容量 (MB)	12.76	12.8	12.74	12.76	25.62	25.5
	每道容量 (KB)	10.416	10.416	10.416	10.416	10.416	10.416
盘片数		2	2	2	2	2	2
磁头数		4	4	4	4	4	4
磁道数/面		306	306	306	306	612	612
磁道密度 (TPI)		345	402	360	303	588	648
记录位密度 (BPI)		9074	9706	9036	9706	9827	9036
盘片转速(转/分)		3600	3600	3600	3600	3600RPM±1%	3550
寻找时间(ms)	最小			16.2		20	3
	平均	85	85	85	100	65	80
	最大			175		150	200
磁头驱动方式		步进电机+钢带	步进电机+齿轮齿条	步进电机+钢带	步进电机+钢带	步进电机+钢带	步进电机+磁头小车
接口形式		ST506/412		ST506/412			
外形尺寸		3.25×5.75×8		1.63×5.75×8	3.25×5.75×8	1.63×5.75×8	1.63×5.75×8
生产厂家		Seagate Technology 公司	Miniscribe 公司	Shugart 公司	Interna tional Memories Inc	seagate Technology 公司	Microscience International 公司

由硬盘控制器发出“微步控制”的允许信号，使单片机按一定的程序对磁头位置作微步调整。在读出数据正确之前，可连续作八步微步调整。ST225的这种微步控制功能需有相应的硬盘控制器才能发挥其作用。

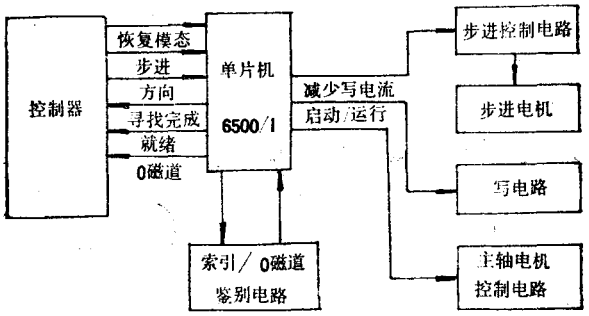


图10-2 ST225 硬盘机框图

(4)在ST225硬盘机中没有专门为产生索引和“00”道信号的传感器，而是在四个盘面的“-1”道和617道预先录写上特殊格式的信号，用来产生索引脉冲和“00”道信号。加电后，主轴电机启动并到达额定转速时，单片机使步进电机的初始激磁相位为A和B，然后调用微程序控制磁头首先前进到617道，再后退到-1道。此时将单片机内部的磁道计数器清零，同时使步进电机再前进一步，“00”道信号变为有效，表示了磁头已处于“00”道。索引脉冲的产生采用了以下方案：由于ST225的主轴电机是两相的，换向用的霍尔元件的输出每一转有两只脉冲，若取其中一只霍尔元件的输出作二分频处理，可获得每转为一个脉冲的索引信号。为保证这样产生的索引信号总出现在固定的位置上；预先录写在617和-1道的特定格式的信号相对于霍尔元件的输出有固定的相位关系，在鉴别电路检测到这一信号后，控制二分频电路工作，就可由霍尔元件的输出获得稳定可靠的索引脉冲。

(5)主轴电机的转速控制框图如图10-3。Seagate公司开发的专用集成电路将标准时钟与霍尔元件的输出(相当于转速脉冲)进行相位比较，产生控制信号，对电机的转速实施闭环控制。在电机启动期间，单片机给出的控制信号使双极性电机启动电路工作。主

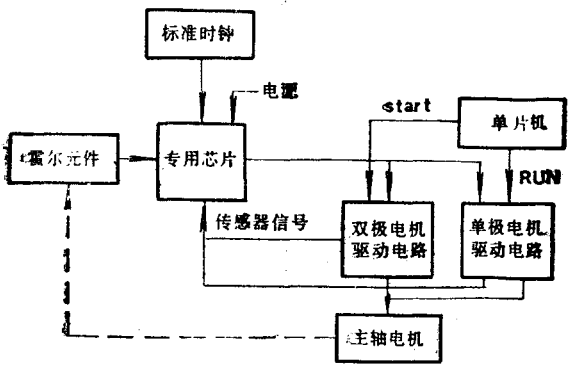


图10-3 ST225 硬盘机转速控制框图

轴电机的两相绕组同时供电，使电机尽快达到额定转速。启动结束进入正常运转期间，单片机发出的控制信号只使单极性电机驱动电路工作，主轴电机两绕组轮流供电，维持

正常的转速。在硬盘机断电后，依靠主轴电机绕组中的反电势，对电机实施动态刹车。

(6) ST225 硬盘机的读/写电路部分集成度较高，有两只专用的集成电路如图10-4。选头矩阵、读/写转换电路及读出信号前置放大集成在一起，电路型号为 11642-01B。写数据接收、写电流产生、读出信号的处理及 MFM 制读数据的产生集成在一起，电路型号为 SSI280。这两只专用集成电路都安装在头盘组件之外的电路板上。

(7) ST225 硬盘机性能参数见表 10-1。

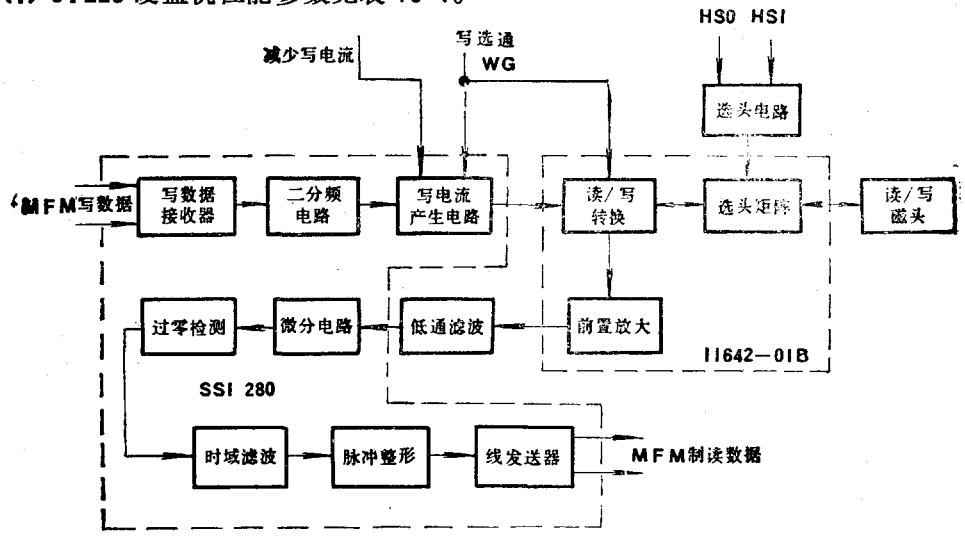


图10-4 ST225 硬盘机读/写电路框图

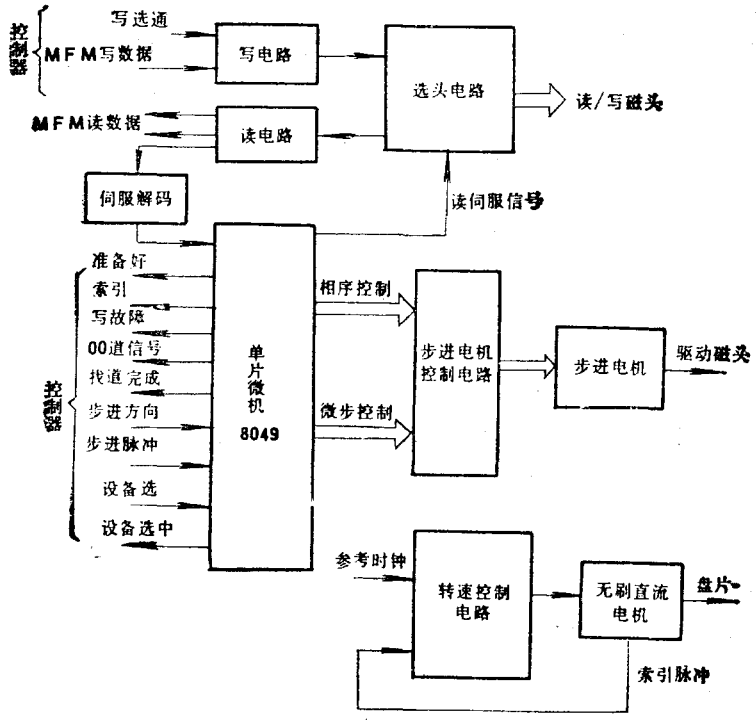


图10-5 HH725 硬盘机的框图

五、HH725 硬盘机

HH725 硬盘机是美用 Microscience International 公司的产品，这是一种采用嵌入式伺服的 5.25 英寸半高硬盘机，格式化存储容量为 20MB，其他性能指标见表 10-1。图 10-5 是 HH725 的功能方框图。

HH725硬盘机的磁头定位系统是以两相步进电机作驱动装置，以单片机8049为控制核心的半闭环式控制系统。磁头在由现行磁道移向目的磁道的阶段，与一般步进电机定位结构一样，只是根据输入步进脉冲的个数及间隔，产生相序控制信号，使步进电机以最快的速度移到目的磁道。这一阶段是开环控制方式。当磁头到达目的磁道后，单片机发出控制信号，使读电路读出索引伺服区的定位信号，经解码电路处理后，给出磁头偏离道中心及偏向道中心哪一方的状态信号，使单片机通过P2端口发出微步控制信号，对磁头作微步调整。

HH725中的伺服定位信息在由上往下数的第三个盘面上，录写在索引脉冲前 270 微秒的范围内，这就是所谓的索引伺服区。伺服定位信号的编码方式是三位置伺服定位码（详见第九章第四节），同步脉冲的间隔为 0.54μs，中间插入分别代表奇道、偶道的两只脉冲。因此奇数道的伺服信息编码为110，偶数道的伺服信息编码为101。在数据区，奇、偶信息的伺服磁道相间，在外保护区全为奇道伺服信息，在内保护区全为偶道伺服信息。为获得“00”道信号，在数据区与外保护区交界处的“00”道上，伺服定位信息之后还附加一点特殊标记，以便伺服解码电路检出这部分信号后，产生出“00”道信号。为使读电路能检读出索引伺服区中的定位信号，在机械索引脉冲来到后（接口上输出的索引脉冲要迟后于该脉冲270μs）单片机发出命令，使选头电路在270μs的期间只选中1#磁头，以便读出索引伺服区的定位信号，作译码处理后，调节磁头的位置。

HH725 的磁头驱动机械结构不同于一般的 5.25 英寸硬盘机，它采用了磁头小车装置，利用裂片钢带将步进电机的转动转变为磁头小车的平移（如图10-6）磁头小车依靠四个精密轴承骑在一根平直光滑的圆导轨上，小车两侧的两只防扭轴承顶压在两根圆杆上，以保持小车平移时的稳定性。采用这样的小车机构，可保证磁头的读出缝隙始终与磁道的切线方向一致，提高读出信号的可靠性。单片机输出的步进电机控制信号是一列间隔随道差而变的脉冲，经步进电机驱动电路（电路型号为 PBL3717）变为调宽脉冲并作功率放大，使磁头小车作相应的移动。

HH725 采用的磁头是 3350 型组合磁头，盘片为电镀盘片。读/写电路中有 SSI117 型硬盘机专用读/写前置电路，安装在 HDA 之中，由前置级送出的读出信号经 MC1350 型宽带自动增益放大器放大后，一路由读信号处理电路作峰值检测，最后产生 MFM 读数据脉冲。另一路送伺服解码电路。由于选频网络的作用，只有伺服定位信号能被译码，产生出用于步进电机微调的信号。

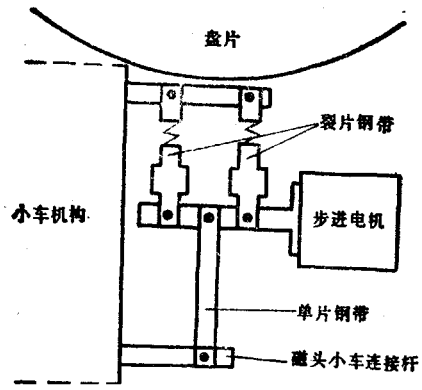


图 10-6　HH725 硬盘机的磁头小车示意图

主轴电机的速度稳定，采用了锁相技术。电路中包含一只相位比较器、低通滤波及电压放大为一体的集成电路 TC9142，它的输入是转速脉冲和标准时钟（8049 的 ALE 信号），输出电压作为霍尔无刷直流电机专用驱动电路 TA7245PP 的输入，经功率放大及换向控制之后，对主轴电机的转速作闭环调节。利用这样的稳速电路，转速稳定精度可达0.1%。

HH725 硬盘机由于采用索引伺服区，定位精度较高，温度稳定性好，但相应地磁头调整时间加长。

第二节　Q540硬盘机

Q540硬盘机是美国 Quantum 公司生产的一种全高 5.25 英寸的硬盘机，它的存储容量(非格式化)为 42.6MB，采用光栅式位置传感器，对磁头位置作闭环控制。由于这种硬盘机投放市场较早，我国国内使用的中、高档微型计算机大部分都用它作为系统的基本存储装置。了解这种硬盘机的性能、结构及特点，有助于更好地发挥它在微型计算机系统中的作用。

图 10-7是 Q540 硬盘机的组成框图。安装盘片的主轴与直流无刷电机同轴，以每分钟 3529 转的速度旋转。读/写磁头组件直接安装在力矩电机的转轴上，在印制板上的单片机控制下，作旋转式的运动。磁头组件定位用的位置反馈信号，由光栅传感器组件提

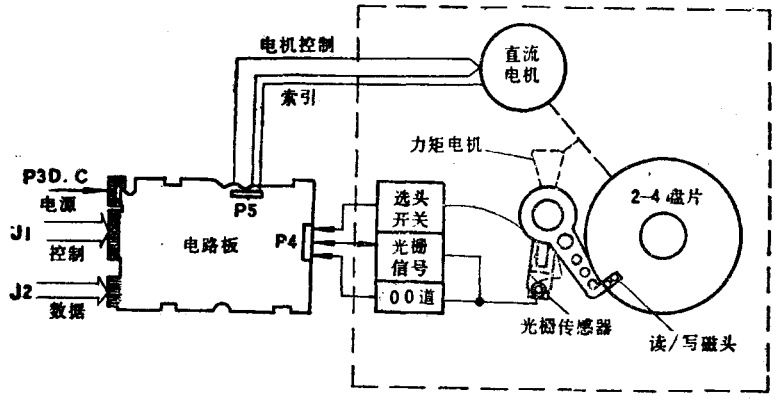


图10-7　Q540 硬盘机方框图

供。为克服温度变化对定位精度的影响，在第3盘面上写有时间长度为290μs的索引伺服定位信号，使在精定位时可对磁头位置作精确的调整。在 HDA 内部有一块小印制电路板，主要包含光栅定位信号的放大与处理电路以及二极管选头矩阵电路。主印制电路板包括磁头定位控制电路，主轴速度稳定电路，读/写电路及接口逻辑信号形成电路等几部分。

Q540的HDA 内部结构如第八章图 8-2 所示，绝大部分机电部件都安装在 HDA 之中。下面将对一些主要部分加以说明。

1.光栅传感器

光栅式传感器是一种位置传感器组件，它能提供磁头位置信息，以作为磁头闭环定

位系统的反馈信号。这一组件由安装座、红外线发光二极管，定光栅刻尺和光敏元件等组成，夹装在硬盘机底座的一根主柱上。红外线发光二极管位于传感器组件的最上方，定光栅刻尺的下方按一定的规律固有三只光敏二极管。与磁头组件连在一起的动光栅插在红外光二极管与定光栅之间(图10-8)。由于动、定光栅上刻有明暗相间的线条，当动光栅随着磁头组件转动时，将产生明暗交替的莫尔条纹，光敏二极管将产生与光强成正比的光电流，经电子线路放大与处理之后，充当磁头位置信息。动光栅与定光栅之间的距离和明暗线条之间的夹角都已在工厂作了专门的调整。

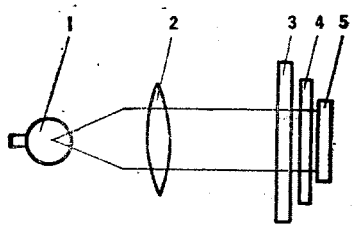


图10-8 光栅传感器示意图

1. 光源 2. 聚光鏡 3. 标尺光栅 4. 指示光栅 5.光敏元件

2.力矩电机和磁头组件

Q540的磁头定位机构采用的是Quantum公司自行设计制造的力矩电机。电机的转子由两只扁平的矩形线圈构成，利用轴承支承在上、下两块永久磁铁之间。当线圈中有电流流过时，将使线圈围绕着转子旋转，电流方向不同时，旋转方向也随之而变。磁头部件直接安装在力矩电机的转轴上，它由磁头、固定磁头的梳形转臂、动光栅及平衡块等组成。Q540 硬盘机中采用的是全尺寸的温彻斯特磁头，读/写缝隙长度为 28μm。磁头组件还用一根弹簧与底座相连，当断电时，依靠弹簧的恢复力，可强迫磁头快速移动到着陆区。

3.主轴电机与盘片

Q540 中使用三相霍尔无刷直流电机作为主轴电机，由单片机 Intel8048 对其转速实施闭环控制。直流电机由直流电机本体，安装盘片的主轴及磁流体密封部件等组成。磁流体密封部分能防止外界的空气沿着轴承孔和转轴进入头盘组件内部。主轴电机内部有三只霍尔元件和一只反射式光电传感器。霍尔元件的输出作电机换向用，光电传感器产生的索引脉冲用作转速监测及转速调节的反馈信号。Q540 共有四片甩胶盘片，利用隔圈和压板固定在主轴电机的枢轴上。

4.空气循环过滤器与气锁装置

为保证 HDA 腔体内始终保持100级的洁净度。HDA 内部的高压区内装有 0.3μm 的循环过滤器，依靠盘片的气泵作用使腔体中的空气经过过滤之后再流到盘片区。循环过滤器固定在气锁装置的基座上。气锁装置由三只内凹的风叶、转轴及游丝弹簧等组成，风叶夹在两片盘片之间。当盘片静止时，气锁在弹簧的作用下停在收藏位置，磁头转臂卡死，保证磁头不会因振动冲击滑到数据区而损伤盘片；当盘片旋转且达到额定转速时，由于气流在风叶上的作用力，使气锁克服弹簧力转动一个固定角度，让磁头转臂开锁而可以自由转动。

图10-9是 Q540 硬盘机的主要电路框图。由图可以看出，电路中采用了两个单片机，Intel8048 用主轴电机的速度控制与检测，以及接口索引脉冲的产生。MC68705 用于磁头定位控制及接口状态信号的产生，这样可使信息的处理速度大大加快。图中的读/写、选头及主轴电机的速度控制等已在第九章作为例子叙述过，此处不再重复，本节只简要地介绍与磁头定位有关的电路组成与工作原理。

1.光栅位置信号的产生与处理

图 10-10 是光栅位置及“00”道信号形成原理电路。当与磁头转臂固连在一起的动光栅相对于定光栅转动时，会产生明暗交替的莫尔条纹，使光敏二极管产生近似正弦变

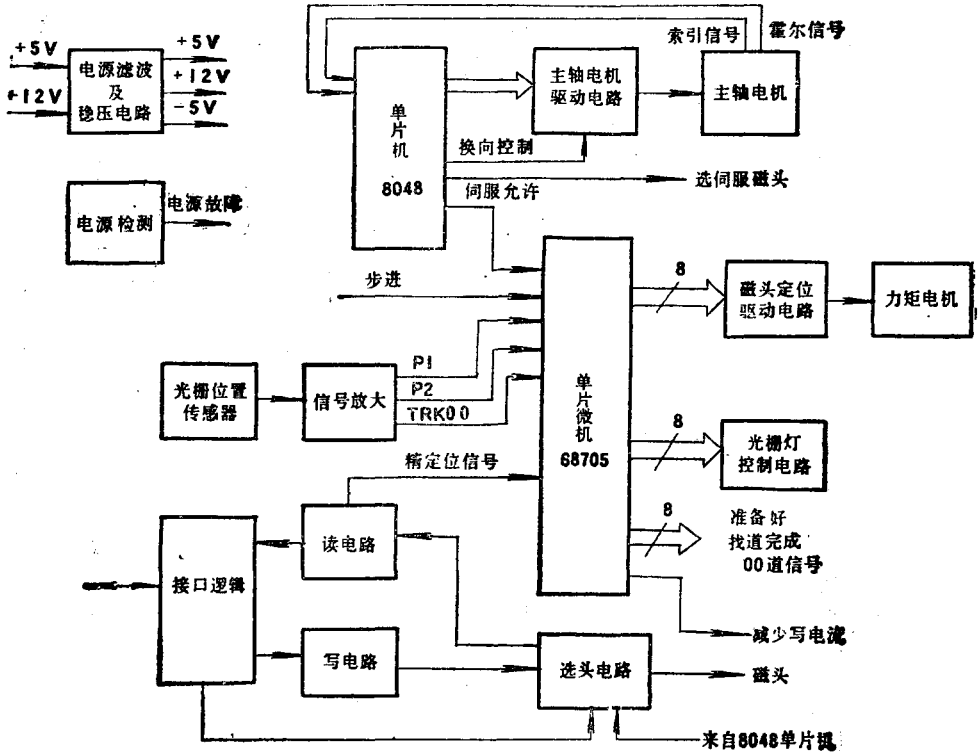
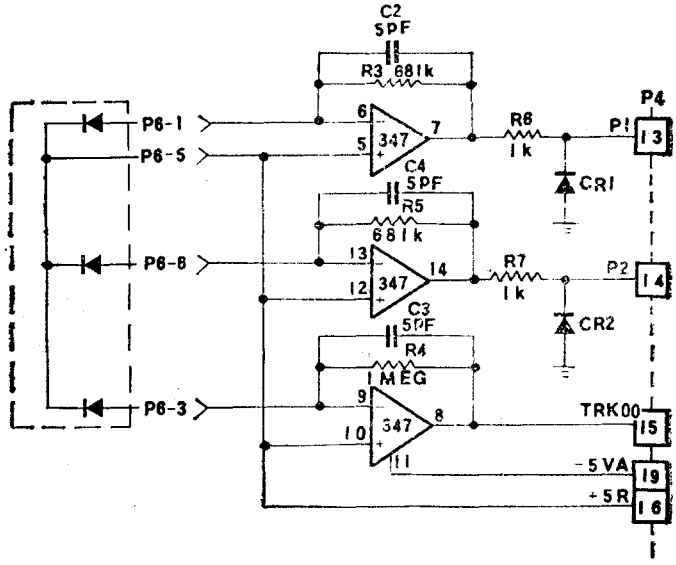


图10-9 Q540 硬盘机原理框图



10-10 光栅信号处理电路

化的光电流。由于两只光敏管的配置位置不同，产生的光电流在相位上相差90°，因此

经运算放大器处理后的P_1与P_2位置信号也相差90°。为了产生“00”道信号，在光栅传感器组件中还另外配置了一只光敏二极管。动光栅表面有一块矩形的不透明区，当磁头处于其他位置时，红外线能照到这只光敏二极管上，运算放大器的输出为低电平2V；当磁头移动到“00”道附近时，红外线被档，光敏二极管无电流输出，运算放大器的输出约为+5V。将此信号与位置信号P_1和P_2作适当配合，就可产生“00”道信号。

随着温度的变化及器件的老化，光栅传感器的输出会发生变化而影响定位精度，在Q540硬盘机中，对红外线灯泡的供电电压采用自动增益控制电路，使其发出的光强能基本保持不变。单片机68705在加电初始化阶段，将磁头处于256道附近的“00”道信号与预先存储在RAM中的参考值进行比较，并参照位置信号P_1和P_2而产生8位字长调整信号，经数模转换后，通过小印制电路板上LF347运算放大器的控制作用，使光电流保持恒定。图10-11是光电流控制电路。

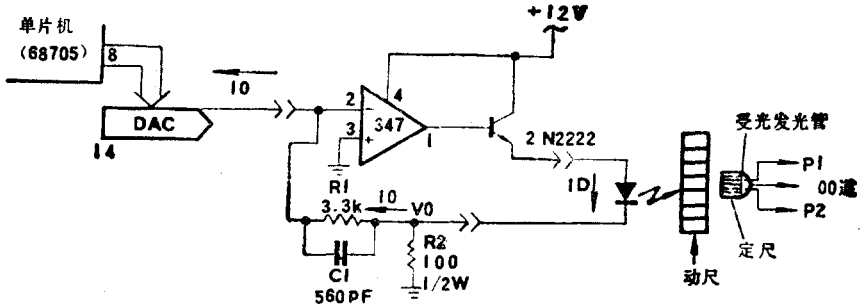


图10-11 光电流控制电路

2.68705单片机对定位的作用

68705是8位字长的单片机，除象一般单片机那样含有中央处理器、定时/计数

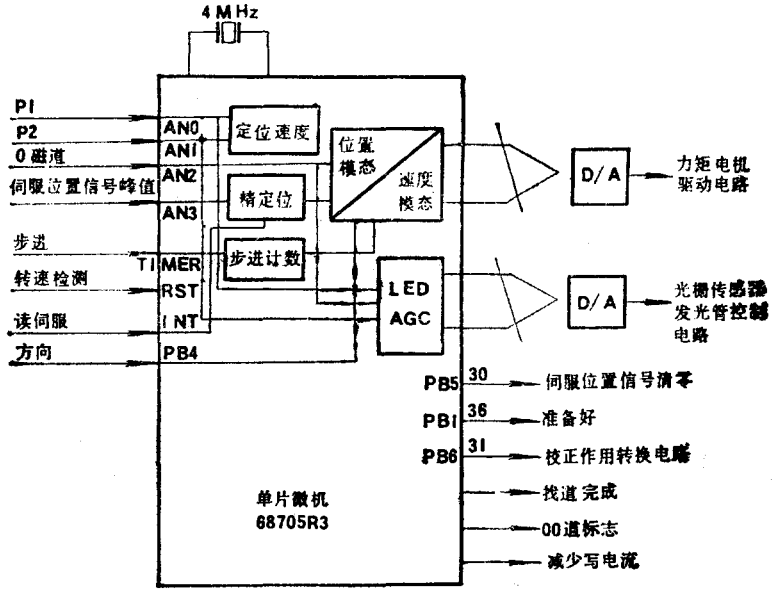


图10-12 磁头驱动单片机框图

器，I/O端口，还包含有112字节的RAM，3.8KB的EPROM以及模数转换电路。图10-12是其在定位系统中的功能示意图。

加电后，单片机对I/O端口、RAM等作初始化处理，并通过调整光栅传感器发光管的电流，确定位置信号P_1和P_2之间的相位关系，使磁头移动到“00”道，完成定位系统初始化的过程。在找道时，也有两种工作模态，即速度模态和位置模态。在速度模态时，根据输入的步进脉冲数，也即道差，由单片机产生指令速度信号，通过I/O端口以二进制的方式输出。而磁头运动的速度是依靠测量位置信号P_1和P_2两个过零点之间的时间而获得的，以其产生速度反馈信号，形成闭环控制。当磁头到达目的磁道时，微机将位置信号P_1和P_2与存储在RAM中的参考电压比较，用其差值调整磁头的位置，使其定位在磁道中心。为消除温度的影响，在第三面盘面上写有索引伺服区信号。根据单片机68705的控制，读出电路将及时地读出伺服信号，对参考电压进行修正，以便对磁头的位置作适当的调整。

3．磁头定位驱动电路

图10-13是Q540硬盘机的磁头定位的驱动电路图。由单片机68705输出的8位字长的数字信号，经DAC转换成驱动磁头定位装置—力矩电机的控制电流。在速度模态时，当DAC的输入为80H时，相当于力矩的控制电流为零；当输入为FFH时，为磁头前进方向的满刻度电流；输入为00H时，为磁头后退方向的满刻度电流。因此，在全行程范围

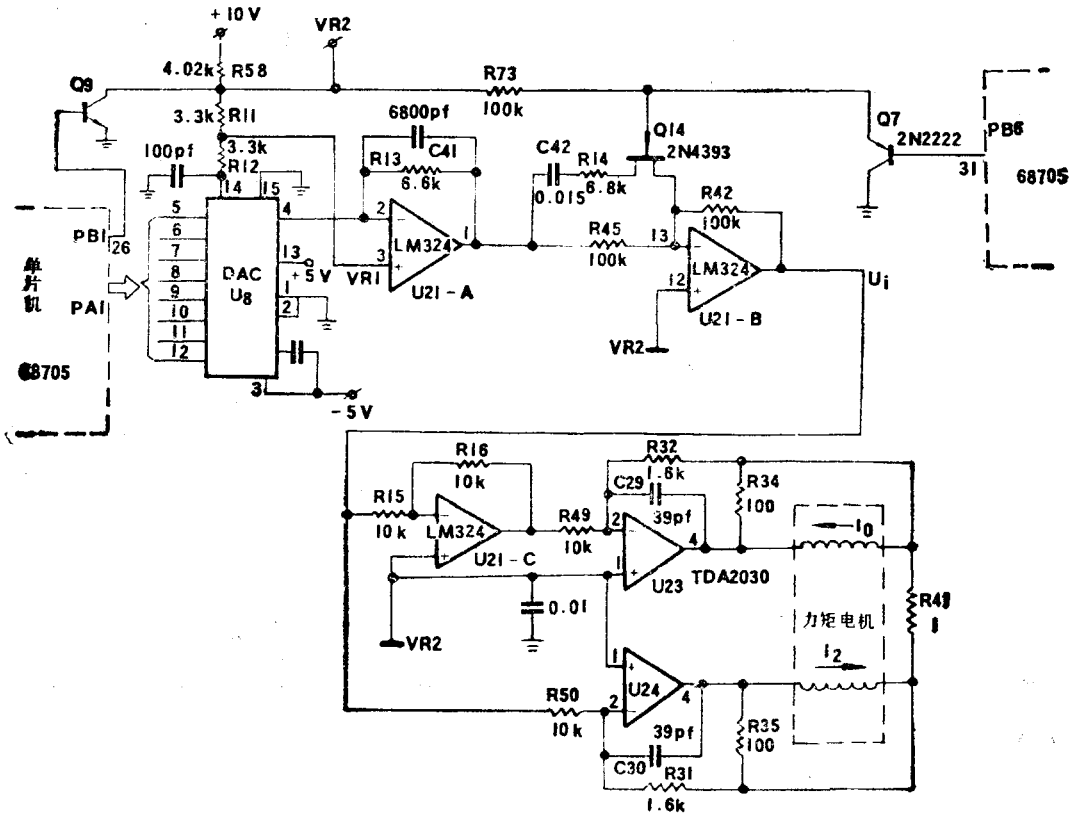


图10-13 Q540硬盘机磁头驱动电路

内，力矩电机的控制电流有256个等级。在作位置模态控制时，数模转换（DAC）的输出所产生的控制电流决定于实际位置信号与参考位置信号的差值。

主轴电机加电启动并达到额定转速之后，单片机68705的端口 PB_1（26脚）输出电平状态由高变低，使 Q_9 由导通变为截止，使加于 U_{21-B}、U_{21-C}、U_{23} 和 U_{24} 上的参考电压 V_{R2} 由0V变为6.2V。此时，数模转换电路 U_8 产生的控制信号能转变为正常的力矩电机工作电流。由图中可看出，DAC 输出的电流由运算放大器（LM324）U_{21-A} 转换成控制电压，并滤除高频杂波。U_{21-A} 既作为反向器，又是有源校正网络，对控制电压搜索系统的工作要求加以频率补偿。经网络校正及倒相后的控制电压 V_i 的一路直接加到低频功率放大器 U_{24}（TDA2030）的输入端；另一路经反相后加到另一只低频功率放大器 U_{23} 的输入端。U_{23} 和 U_{24} 的输出极性总是相反的，在控制电压 U_i 的数值为6.2V时（此时 U_{21-A} 的输出为6.2V，相当于 DAC 的输入状态为80H），两只低频功率放大器的输出相等，约为7.2V，此时无控制电流流过力矩电机的绕组。当 $|U_i|>6.2V$ 时，产生的驱动电流使磁头组件转向外磁道；当 $|U_i|<6.2V$ 时，磁头组件将转向内磁道。磁头作快速寻找的速度控制期间，在单片机68705的控制之下，图中的 Q_7 导通，场效应管 Q_{14} 截止，C_{42} 和 R_4 组成的串联校正网络断开，U_{21-B} 只起反相器的作用。在对磁头作位置控制时，Q_7 截止，C_{42} 和 R_{14} 与 R_{45} 并联，使 U_{21-B} 产生有源校正网络的功能，改善位置控制时的动态品质。电阻 R_{41} 与力矩电机两个绕组串联，它上面的电压降与电机的控制电流成正比，用作电流反馈用，使磁头定位系统的控制过程能获得满意的效果。电容 C_{29} 与 C_{30} 主要用于抑制电路中的高频振荡。表10-2是 Q540 硬盘机的主要性能参数。

表10-2 Q540硬盘机主要技术性能指标

非格式化容量	42.66MB
盘片数	4
每台磁头数	8
每面磁道数	512
磁道密度（TPI）	591
位记录密度（BPI）	9200
盘片转速	3529转/分±0.1%
找道时间：	
最小	6ms
平均	45ms
最大	70ms
磁头驱动方式	力矩电机
接口形式	ST506/412

第十一章　硬盘控制器

第一节　硬盘存储器子系统的组成

硬盘机是微型计算机的外存储设备，由于结构和数据记录方式上的根本差别，两者之间不能直接通过计算机总线进行“通话”，必须有一个界面，在主机与磁盘之间充当“联系人”的角色，以保证数据的正常交换，这个界面通常就是磁盘控制器(在本章中我们称硬盘控制器)。硬盘控制器上接主机总线，下接硬盘机，是数据、命令的中转站，它必须遵循两个接口界面上的规约，使硬盘机对主机具有相当的透明性。

硬盘存储子系统应包括硬盘机、硬盘控制器、电源三大部分。现在最常见的形式有三种。第一种是内含式，如IBM PC/XT那样，硬盘控制器插在计算机的总线槽口之中，硬盘机通过命令电缆和数据电缆与控制器相接，电源与主机电源共用。在这种情况下，子系统已成为计算机的基本配置之一。第二种是外挂式，将硬盘机、控制器、电源安装在一个专门的机壳之中，子系统通过总线电缆与主机相连。第三种是介于第一、第二之间，即控制器仍插在计算机槽口之中，只是硬盘机与电源装在一个机壳中，硬盘机通过电缆与控制器相接。第一种子系统在微型计算机系统组成时已配置好，用户只要购置微型计算机系统，就可得到硬盘存储子系统。第二种子系统在系统扩充时用得较多。由于现在的微型计算机种类较多，总线接口也有不少形式，用户在选用时，除了要确定硬盘机的容量，数据传输率等参数外，更重要的是研究子系统的控制器的类型，以便确定是否适合于自己的微型计算机总线结构。第三种形式的子系统有一定的灵活性，实际是在控制器确定的基础上，用户根据系统的需要，选用合适的容量、磁道数、磁头数及接口形式的硬盘机。

由于硬盘机内部的所有活动以及它与主机的联系，都要依靠控制器，这决定了控制器应具备以下的功能：对硬盘机的辨认；磁头的定位；写入信号的编码和读出信号的数据分离与解码；格式化处理；资料区段的识别；读出数据的校验及自动纠错；坏磁道的替代及坏扇区的标记等。随着硬盘机性能的不断改进，以及操作系统的复杂化与多元化，对控制器的智能化程度要求愈来愈高。为满足系统的需要，很多制造厂商一方面在硬件设计及软件开发方面采取很多措施，提高控制器的性能价格比。另一方面采用合适的接口规约，大量采用超大规模集成电路，提高硬盘子系统的智能化程度。

硬盘子系统中的硬盘机前面已作了较详细的说明，所用的开关稳压电源，在一些专门的资料中也有详细的介绍，本章仅对于硬盘控制器的一般原理及用法作些说明。

第二节　硬盘控制器工作原理

国内IBM PC/XT及其兼容机中使用的硬盘控制器如同硬盘机一样，有很多种类，但与硬盘机相连的界面多是ST506/412标准接口。为此决定了不同型号的硬盘控制器其内

部结构却有很多类似的地方。就其组成框图而言，都包括以下几大部分：

（1）与主机数据总线及地址总线交连的控制逻辑电路，是由寄存器，地址译码器，缓冲器等组成的；

（2）作为控制器核心的微处理器；

（3）完成读出数据的分离及写入数据预补偿的读/写数据解码与编码电路；

（4）对数据进行 CRC 校验以及对出错数据进行修正的数据检错及纠错电路；

（5）根据主机发送的命令，对数据的流动、数据转换及格式化等进行逻辑控制的电路；

（6）存放引导程序及控制器微程序的 PROM（或 EPROM）。各制造厂商，为适应市场的需要，都相继开发出一些功能接近但结构稍有差别的专用电路芯片。图 11-1 是美国国家半导体公司（National Semicoductor公司）推出的 DP8400 系列 VLSI（超大规模集成电路）所组成的硬盘控制器的原理框图。图11-2是美国 DTC 公司（Data Technology 公司）的 DTC-5150BX 硬盘控制器的电路框图。

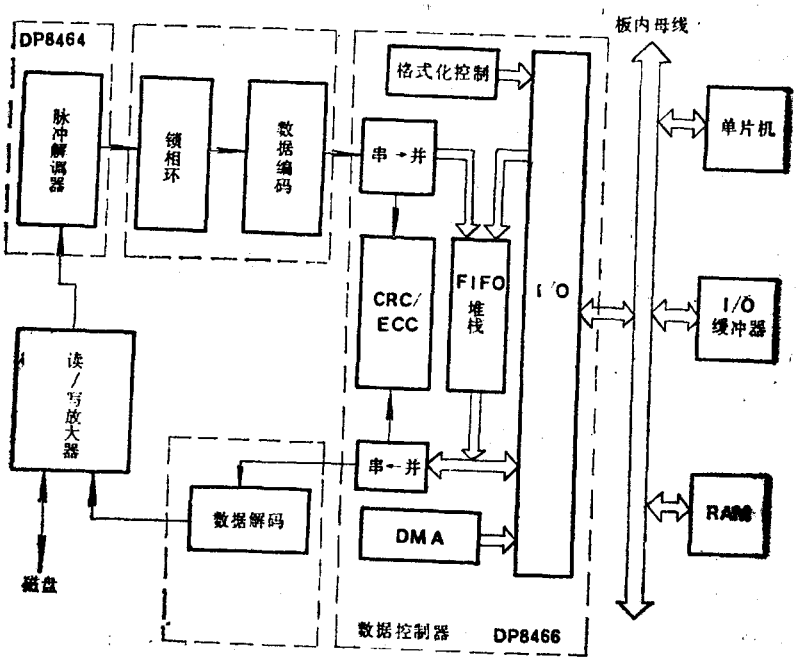


图11-1 DP8400硬盘控制器框图

硬盘控制器的工作过程是在板内微处理器的统一管理下，以微程序的控制方式进行的。几个硬盘控制器专用电路（读/写、时序控制电路、CRC及ECC 电路、数据分离及写前补偿电路等）的功能是将微程序发出的各种命令转化成使硬盘机进行寻找、读、写的控制信号，同时完成对传送数据的串—并、并—串转换及编码、解码的处理。硬盘控制器的工作可归纳为两个阶段：第一，加电后控制器进行自诊断、读开关设置，确定能配接的硬盘机参数，同时主机通过端口访问控制器，以便确定控制器能否被主机识别。第二为数据通信阶段。在这一阶段内，首先由主机查询控制器的状态，当“忙”为“0”时（BUSy = 0），主机通过写322端口地址选择控制器，控制器则以“忙”为“1”（BUSY

Petro Workshop
果粉工作室

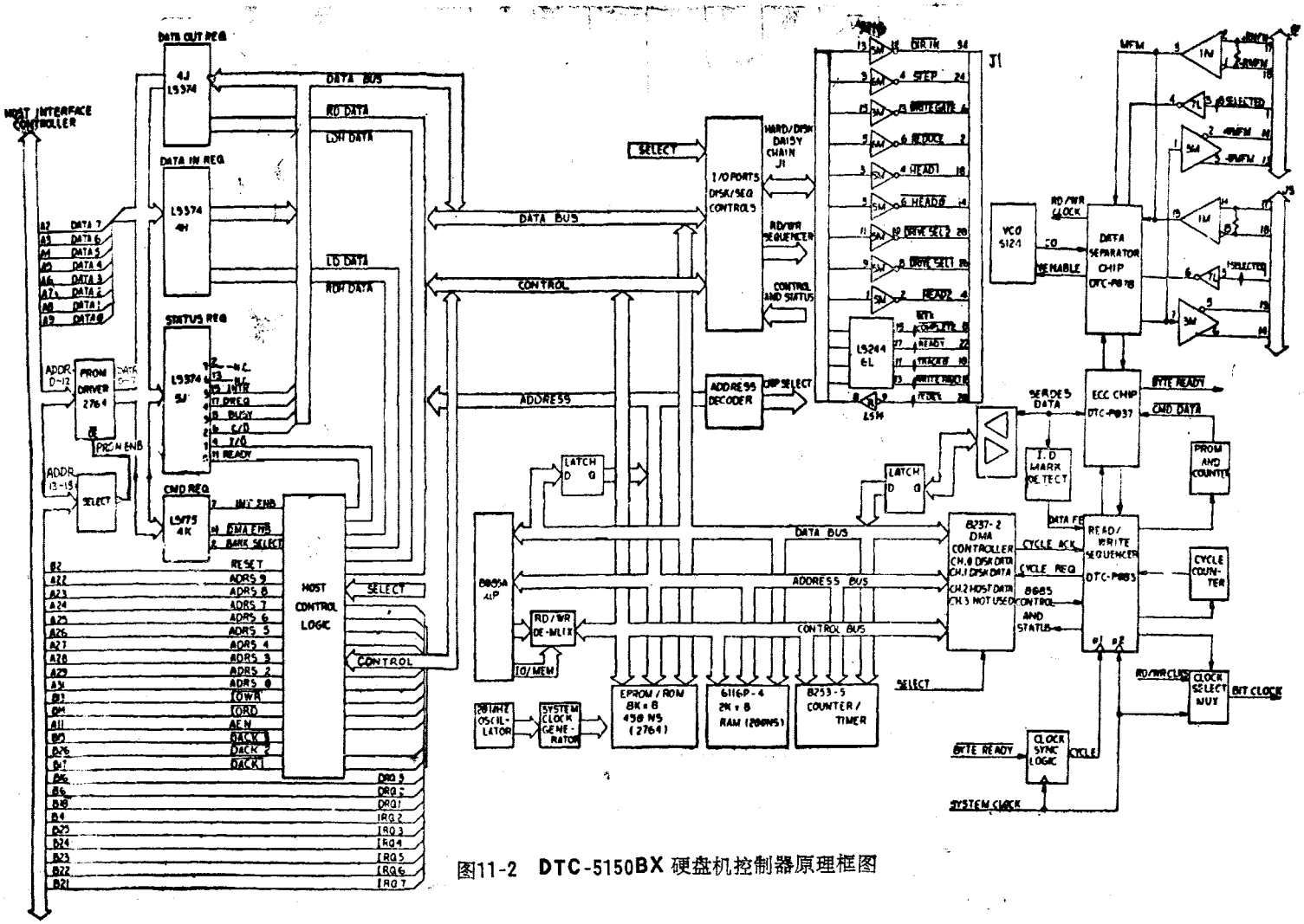


图11-2 **DTC-5150BX** 硬盘机控制器原理框图

=1）作为对主机的响应。接着进行命令传送。主机将一定长度的命令字节送至控制器，控制器将命令字进行译码，向硬盘机发出相应的寻找/读/写命令。第三步是数据交换阶段，根据数据的传送方向，在主机与硬盘机之间进行数据交换。最后，当数据交换完成之后，若主机允许中断，则控制器发中断请求，开始下一轮的数据传送。

由主机发往控制器的命令块的种类随控制器不同也稍有差别，但命令块的基本结构是相同的，由如表11-1所示的六个字节组成。其中0～4字节的内容一看自明，不必作过多的解释。第五个字节的构成是当 DRt（Disable Retry）置位时，控制器对所执行的命令不再重试；若该位为“0”，当出现寻找错；记录未发现；不可恢复的数据错；可恢复的数据错；地址标记未发现及数据区标记未发现等错误时，控制器将重试一次。当 DRd(Disable Reread) 在读数据期间置位时，控制器不进行重读；若复位时当出现 CRC（循环冗余码）错时则进行重读。步进脉冲的周期按表11-2进行编码。

表11-1 控制器命令块结构表

字节号	7	6	5	4	3	2	1	0
0	命令类型			操作码				
1	0	0	台号	头号				
2	高位圆柱地址			扇区号				
3	低位圆柱地址							
4	数据块计数或交替值							
5	DRt	DRd	0	0	0	S_2	S_1	S_0

表11-2 步进脉冲周期编码

位			步进脉冲周期
S_2	S_1	S_0	
0	0	0	3ms
0	0	1	备用
0	1	0	备用
0	1	1	13ms
1	0	0	200us
1	0	1	70us
1	1	0	3ms
1	1	1	3ms

在数据交换的写操作过程中，控制器首先开辟扇区缓冲区，允许主机传送数据，然后根据主机送来的命令字节的内容，利用微程序进行分析判别。在命令合法及一个数据

块已全部传送到缓冲区之后，调用寻找子程序，寻找命令字节中规定的目的磁道，读出磁盘头标区（又称标识IDfield）中磁盘地址的内容（磁道号、磁头号、扇区号），并与命令字节中的内容进行比较。两个内容相符时，扇区缓冲区地址清零，控制器的读/写控制电路发出写选通。在读到磁盘上的数据区地址标记之后，扇区缓冲区中的数据以串行方式依次送到写数据处理电路，进行写前补偿调整，并编码成MFM制脉冲传送到硬盘机。一个扇区写完之后，主机送来下一个数据块，重复上述过程，直到全部数据写完为止。在写数据的过程中，CRC生成电路也进行工作，以便将CRC写到一个数据块的末尾，在读数据时进行CRC校验。图11-3是写扇区过程的流程图。

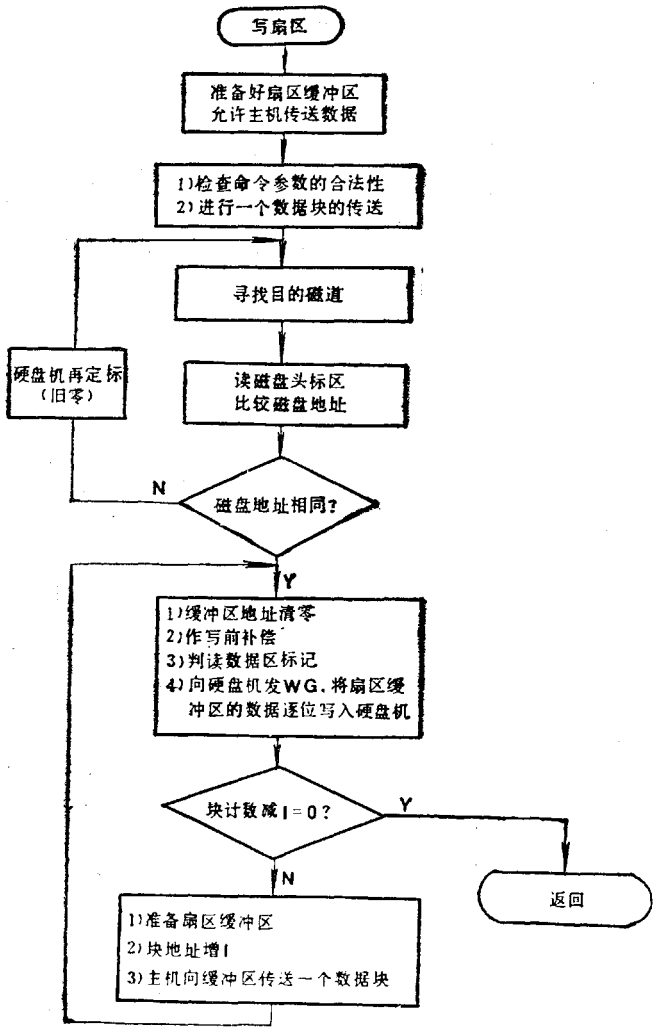


图11-3 写扇区时的流程图

读数据时，主机发来的命令字节同样要利用微程序进行分析与判别。在命令参数合法时，首先调用寻找子程序，使磁头移动到目的磁道，将头标区中的磁盘地址读出与命令字节中的内容进行比较，在磁盘地址相符的情况下，对扇区缓冲区清零，作好接受输入数据的准备。同时读/写控制电路发出读选通信号，将从硬盘机读出的串行MFM制数据送入读数据分离电路，解码成NRZ数据，再逐位串行送入扇区缓冲区。与此同时，CRC校验电路不断工作，将最后形成的CRC与从盘上读出的CRC进行比较，若有错误则作出错处理。若符合ECC(Error Corrected Code)纠错条件时，进行ECC纠错。最后将扇区缓冲区中的数据块传送给主机。若是多数据块传送，则通过块地址计数而进行下一轮的重复。读数据的流程见图11-4。

在IBM PC/XT微机系统中，主机与硬盘存储子系统作数据交换时，没有专门的寻找磁道圆柱地址的命令，而是隐含在数据传送命令之中。在进行数据传送之前，控制器根据命令字节中关于圆柱号的数值，先使磁头移动到相应的圆柱，然后根据磁头号和扇区号而开始写或读的操作。在开始寻找之前，硬盘机要检查发来的命令参数的合法性，即要找的磁道号有否超出允许的范围，并且要检测硬盘机的状态，只有在无写故障、硬盘

机已经“准备好”、“找道完成”信号有效的情况下，才向硬盘机发出步进脉冲和步进方向控制的命令，使硬盘机由现行磁道移动到目的磁道。图11-5是找道过程的流程图。

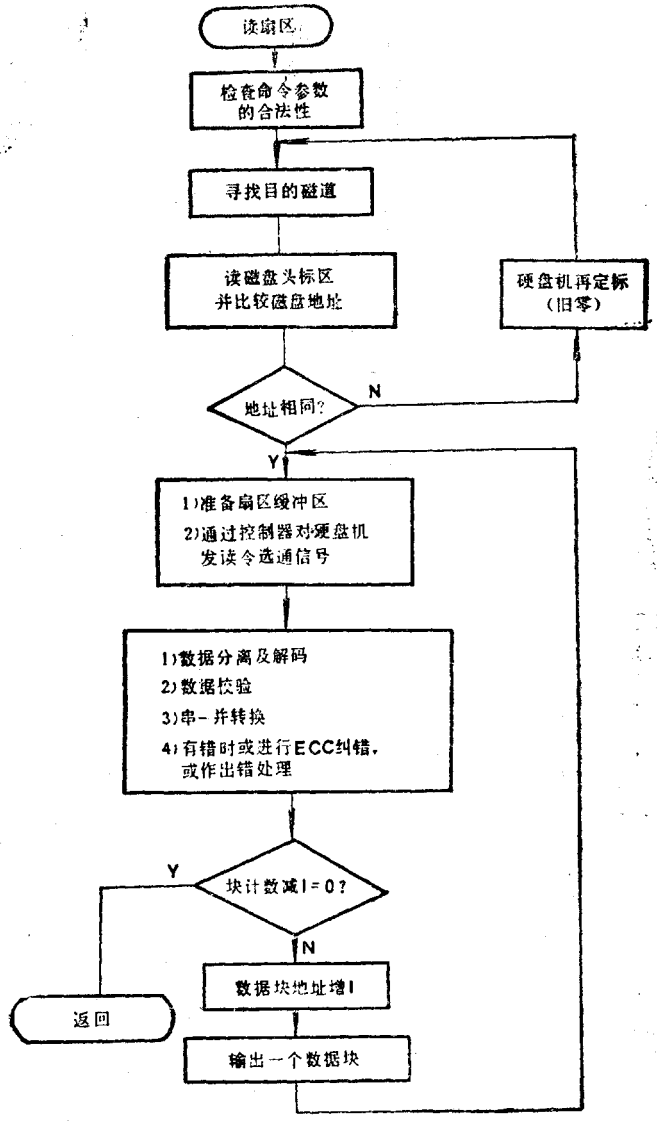


图11-4 读扇区时的流程图

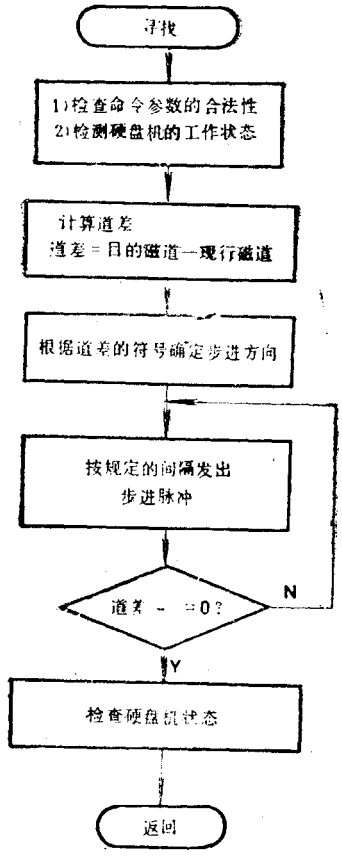


图11-5 找道过程的流程图

在控制器基本工作过程的说明中，曾提到在读或写之前要读出头标区的磁盘地址，以与目的地址进行比较，这种头标区的盘地址是利用一种格式化的程序，按一定的规则通过控制器预先写在盘面上的。5.25英寸硬盘机的数据记录格式采取软分段的方法，每一个区段内按图11-6所示的格式分成第一空隙区，头标区，第二空隙区，数据区，第三和第四空隙区。下面对各区的组成内容及用处逐一说明。

(1)空隙1(GAP1)：字长为16字节，内容为十六进制的4E，用作适应转速变化的缓冲区。

(2)同步区(SYNC)：字长一般为14或13个字节，内容为全“0”。有了该段，控制器中数据分离电路的锁相电路能被牵入同步，为读头标区作好准备。

(3)头标区：头标区包括以下几个部分：

① 头标标记由两个字节组成，第一个字节为A1，但作 MFM 编码时有意将第 2 与

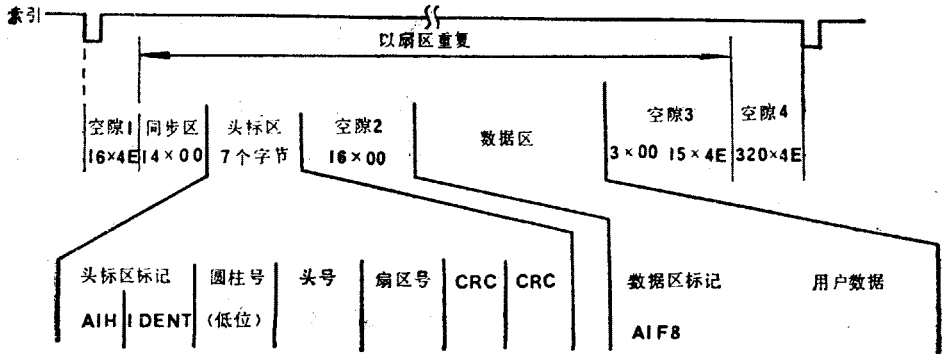


图11-6 硬磁盘数据记录格式

第3位之间的时钟位丢失，形成一个特殊的字节。一旦解码电路检测到这一字节时，标志着头标区的开始。头标区标记的第二字节的后两位存放着圆柱地址的高位，其编码方式是：

FE = 0～255道圆柱

FF = 256～511圆柱

FC = 512～767圆柱

FD = 768～1023圆柱

②低位圆柱号：只有一个字节，代表圆柱号的低位。

③头号：0、1、2位为头号；3、4位为0；5、6位为扇区计数；第7位为坏快标志。

④扇区号：占有一个字节，存放逻辑扇区号。

⑤CRC校验字节：含两个字节，存放头标区的CRC。

(3)空隙2 (GAP_2)：该区一般为15～16个字节，记录全“0”信号，作为头标区与数据区之间的缓冲区，在此区域内允许写选通发生翻转，而其后一部分又作为锁相电路的锁相跟踪区。

(4)用户数据区：

①数据区标志：由A1和F8两个字节组成，其中A1字节和头标区一样，也在作MFM编码时，第2和第3位之间故意丢失一个时钟信号，以便与F8共同作为数据区开始的特殊标记。

②数据区：用户用作记录数据，一般有128、256、512和1024个字节等四种，对应的软分段区数为64、32、16与8。

③最后两个字节用来记录数据区的 CRC。

(5)空隙 3(GAP3)：由 3 个字节的 00H和15个字节4EH组成，作为扇区与扇区之间的缓冲区，防止因转速变化发生扇区与扇区之间的重叠。

(6) 空隙 4(GAP4)：由内容为 4E 的一列字节组成，作为整条磁道的缓冲区，既作为换磁头的转换区，又防止转速变化，将格式化信息写入索引区内。

磁盘记录格式已固化在控制器引导程序的PROM之中，通过专用软件，或用 debug 命令，在适当的入口地址进入，就可完成上述磁道格式的写入。

第三节　微型计算机中常用的硬盘控制器

国内微型计算机中使用的硬盘控制器如同硬盘机一样，有很多型号，最常见的有三种，它们是DTC-5150BX，WD1002-WX2和XEBEC。下面分别介绍这几种控制器的概况及使用中的注意事项。

一、DTC-5150BX 硬盘控制器

DTC-5150BX硬盘控制器是美国 DataTechnology 公司(DTC)为具有工业标准接口 ST506/412 的5.25英寸硬盘机而生产的一种单板硬盘控制器，它能插入IBM PC/XT或兼容机的总线槽口内，最多可控制两台硬盘机。

1、结构特点及功能

DTC-5150BX控制器的电路包括三大部分：

(1)8085微处理器及其外围电路，如8237DMA控制器，8253计数器/定时器，8416随机存储器(RAM)，2764可编程序只读储存器(EPROM)等。

(2)DTC公司开发的专用电路，如DTC-0083A读/写时序控制电路、如DTC-0784数据分离电路，DTC-P134A ECC形成电路。

(3)其它控制逻辑电路。

工作时，以微处理器 8085 为核心，采用微程序控制的方法，协调着数据分离电路，MFM 制的编码及解码电路，串—并、并—串行数据转换电路及其他控制逻辑电路的工作。由于采用灵活的微程序软件结构，具有较强的自诊断能力，对运行中的各类故障有较高的检测、判断效能。对于突发长度小于四位的数据错误能进行修正。此外通过电路板上的微型开关能很方便地使它适应各种参数的硬盘机，具有很大的灵活性。因此，这种控制器在微型计算机系统中应用比较广泛。

DTC-5150BX 控制器具有如下的特点：

(1)对主机来的指令能以输入/输出(I/O)方式传送，而对数据既可以I/O方式传送，也可以直接存储器寻址(DMA)方式传送。

(2)寻找命令隐含在读、写、拷贝等数据传送指令之中，节省命令传送时间。

(3)能监测四类故障，具有较强的故障处理能力，这些故障是：硬盘机故障；控制器本身的故障；错误命令；其它错误。

(4)能自动切换磁道和磁头。在多个数据块传输过程中，若到达一条磁道的末尾部分，控制器能自动地切换到下一条磁道；若到达一个盘面的最后一条磁道，则控制器自动切换磁头、保证数据块的传输能继续进行。

(5)由硬盘机来的数据在传送中出了差错，控制器能判断数据的错误能否修正，若能修正，则利用ECC电路进行自动修正。

(6)控制器中设置了扇区缓冲区，避免数据传送过程中的数据溢出。

(7)扇区交叉因子有16种，用户可根据需要选择其中的一种。

(8)通过跨接线可改变扇区的长短。可选择的扇区长度有三种：扇段长度为256字节，每条磁道有33个扇段；扇段长度为512字节，每条磁道有17个扇段；扇段长度为1024字节，每条磁道有9个扇段。

(9)对于坏磁道，主机能指定一条替代磁道。以后每当对某坏磁道进行数据存取时，控制器能自动地转到新的替代磁道上进行。能指定为替代磁道的总数限制为磁道总数的一半，且替代磁道有缺陷时不能再指定另外的替代磁道，即替代磁道的指定只能为一级。

(10)对坏扇段在格式化时能标识出来，並登记在硬盘机中，以便能够用软件检测出来。

(11)除对指定的几种硬盘机可依靠开关设置的方法直接与控制器相连之外，对特殊规格的可将参数置入控制器中，使子系统正常运行。

(12)控制器只认逻辑设备号不管硬盘机实际上接在哪一个端口上。

2、DTC-5150BX控制器的使用

DTC-5150BX控制器的电路板的外形如图11-7所示，34针插头座接命令电缆，两只20针的插头座分别接1#硬盘机和2#硬盘机的数据电缆。六根跨接线按下列方式配置：

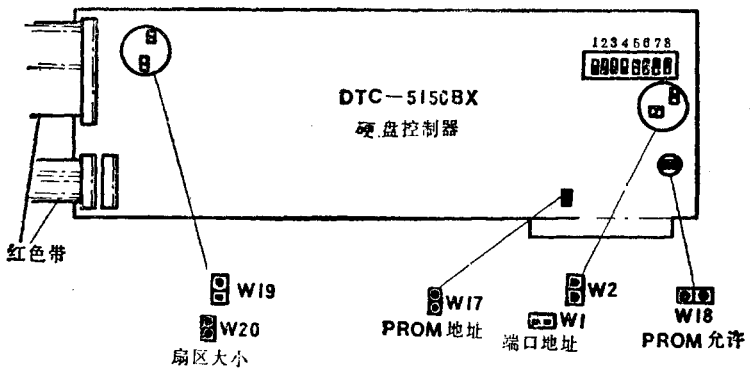


图11-7 DTC-5150BX 控制器外形图

(1) W1，W2是控制器的端口地址跨接线，不同的接线，使控制器接于主机不同的I/O地址端口（见左表）：无特殊要求时，W1和W2全接成短路，表示控制器挂在微机320端口。

W1	W2	地址端口
短路	短路	320
短路	开路	324
开路	短路	328
开路	开路	32C

(2) W_{17}为PROM地址跨接线。该跨接线出厂时接成短路状态，使PROM的入口地址为C800:0000。

(3)W_{18}为PROM允许跨接线，应接成短路状态，以使PROM能工作。

(4)W_{20}和W_{19}为扇区长度跨接线。出厂时W_{20}处于短路状态，W_{19}处于开路状态，此时扇区长度为512字节，除此之外其他接法所对应的扇区长度不适合于DOS2.0。

控制器出厂时，跨接线W_1，W_2，W_{17}，W_{20}已在印制板上接成短路，W_{19}处于开路状态。唯有W_{18}使用跨接片接成短路，用户要检查这一跨接片有否丢失。

在DTC控制器的电路板上有一只八位微型开关，用于选择不同参数的硬盘机。在控制器加电自检阶段，依靠微程序的控制，要将开关状态读入RAM之中，与预先存储在

表11-3 DTC-5150BX硬盘控制器开关设置表

硬盘机类型 数据面容量，磁头数、圆柱数	硬盘机数量	开关设置							
		1	2	3	4	5	6	7	8
IBM#0: 5MB, 2磁头 306圆柱	1	XX	XX	CL	CL	XX	XX	CL	CL
	2	CL	CL	XX	XX	CL	CL	XX	XX
IBM#1: 26MB, 8磁头 375圆柱	1	XX	XX	OP	CL	XX	XX	CL	CL
	2	OP	CL	XX	XX	CL	CL	XX	XX
IBM#2: 15MB, 6磁头 306圆柱	1	XX	XX	CL	OP	XX	XX	CL	CL
	2	CL	OP	XX	XX	CL	CL	XX	XX
IBM#3: 10MB, 4磁头 306圆柱	1	XX	XX	OP	OP	XX	XX	CL	CL
	2	OP	OP	XX	XX	CL	CL	XX	XX
DTC#4: 5MB, 2磁头 306圆柱	1	XX	XX	CL	CL	XX	XX	OP	CL
	2	CL	CL	XX	XX	OP	CL	XX	XX
DTC#5: 28MB, 5磁头 640圆柱	1	XX	XX	OP	CL	XX	XX	OP	CL
	2	OP	CL	XX	XX	OP	CL	XX	XX
DTC#6: 20MB, 8磁头 306圆柱	1	XX	XX	CL	OP	XX	XX	OP	CL
	2	CL	OP	XX	XX	OP	CL	XX	XX
DTC#7: 备用	1	XX	XX	OP	OP	XX	XX	OP	CL
	2	OP	OP	XX	XX	OP	CL	XX	XX
DTC#8: 18MB, 4磁头 512圆柱	1	XX	XX	CL	CL	XX	XX	CL	OP
	2	CL	CL	XX	XX	CL	OP	XX	XX
DTC#9: 27MB, 6磁头 612圆柱	1	XX	XX	OP	CL	XX	XX	CL	OP
	2	OP	CL	XX	XX	CL	OP	XX	XX
DTC#A: 10MB, 2磁头 612圆柱	1	XX	XX	CL	OP	XX	XX	CL	OP
	2	CL	OP	XX	XX	CL	OP	XX	XX
DTC#B: 22M，4磁头 640圆柱	1	XX	XX	OP	OP	XX	XX	CL	OP
	2	OP	OP	XX	XX	CL	OP	XX	XX
DTC#C: 18，3磁头 697圆柱	1	XX	XX	CL	CL	XX	XX	OP	OP
	2	CL	CL	XX	XX	OP	OP	XX	XX

表11-3 DTC-5150BX温盘制控器开关设置表(续)

硬盘机	硬盘机数目	开关设置							
		1	2	3	4	5	6	7	8
DTC#B: 30兆位, 5磁头	1	XX	XX	OP	CL	XX	XX	OP	OP
697圆柱	2	OP	CL	XX	XX	OP	OP	XX	XX
DTC#E: 33兆位, 6磁头	1	XX	XX	CL	OP	XX	XX	OP	OP
640圆柱	2	CL	OP	XX	XX	OP	OP	XX	XX
DTC#F: 特殊设置	1	(n.a)							
	2	OP	OP	XX	XX	OP	OP	XX	XX

注: OP=open=off=1(断开) XX—任意位置 CL=CLosed=on=0(闭合)

PROM中能控制的硬盘机参数进行比较,使控制器知道接入系统的硬盘机各种基本参数,保证主机能根据接入的硬盘机类型发出正确的命令。八位微型开关的设置位置与接入系统的硬盘机参数之间的关系见表11-3。在按表设置开关时要注意以下几点:

①当控制器上挂接了两台硬盘机时,对第一台硬盘机,根据其参数(圆柱数、磁头数、容量),按表中的要求设置开关的第3、4、7、8位,而对于第二台,则对开关的1、2、5、6、按硬盘机参数设置。

②当控制器只带一台硬盘机时,可根据硬盘机的参数查表,设置开关第3、4、7、8的位置。通常为方便起见,即使控制器只带了一台硬盘机,也常将开关按两台同样参数的硬盘机设置。例如,控制器带了一台容量为10MB,圆柱数为306,磁头数为4的硬盘,则开关自低位到高位设置成OP、OP、OP、OP、CL、CL、CL、CL的方式。

③表中最后一项开关设置方案,是将第1、2、5、6位置于断开位置,而第3、4、7、8位按硬盘机的参数设置,这样一台硬盘机将被当成C盘和D盘两台接入系统,各自的容量是硬盘机总容量的一半。

④DOS2.0只能支持单台格式化容量不超过32MB的硬盘机,若硬盘机的容量超出此值,硬盘机将不可能正常工作。

DTC-5150BX控制器对硬盘初始格式化有两种方法,在系统引导成功后,一是利用"DTCFMT"软件;一是所用Debug程序,由C800:05地址进入初始格式化:

```
A>debug
-g=C800:5
DTC-5150BX Hard Disk Formatting Vtility V1.0
This Program will erase all data on the specified hard disk
Enter a hard disk number(1 to 8)
orpress "Q" toguit: 1
Creating Dtcf ormat……
Disk is for matted successfully
Now, Preceed to FDISK and FORMAT(Referto Dos manual)
A>
```

然后,依据DOS 2.0手册规定,进行Fdisk和Format格式化。

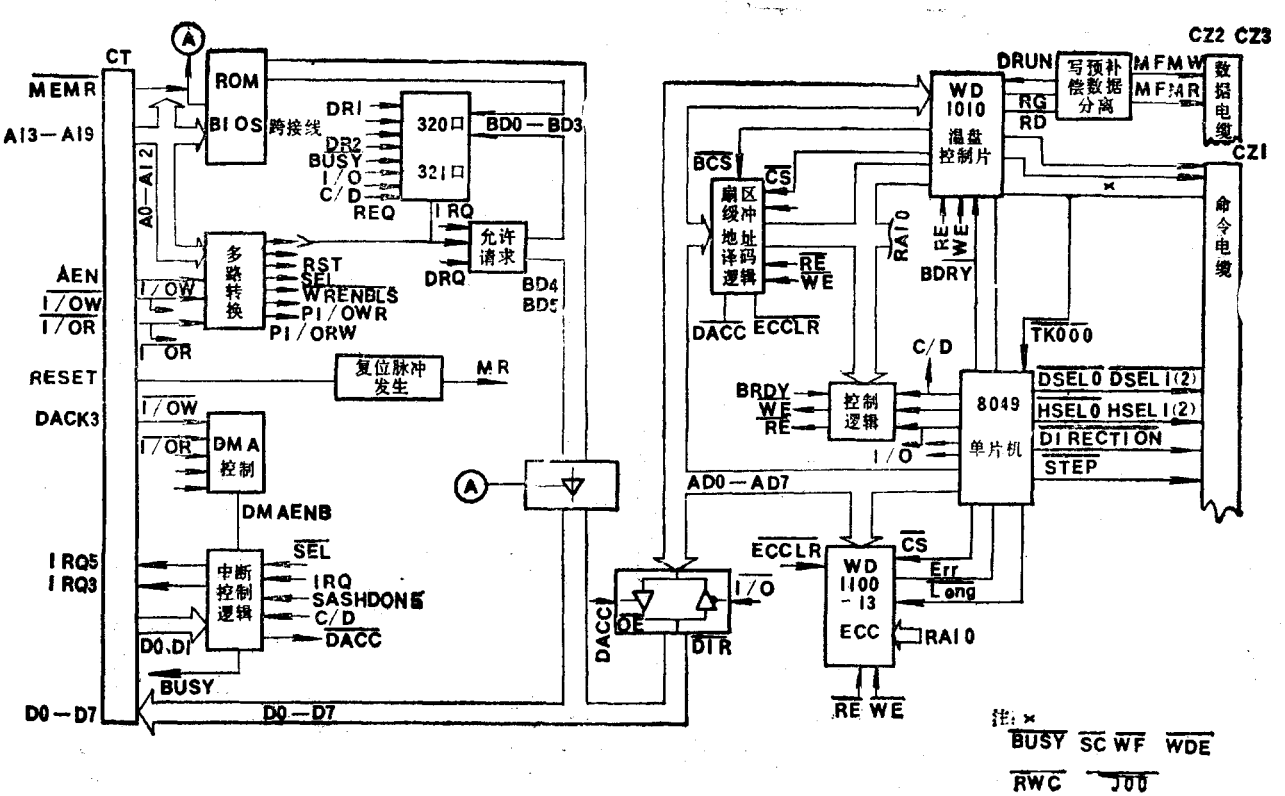
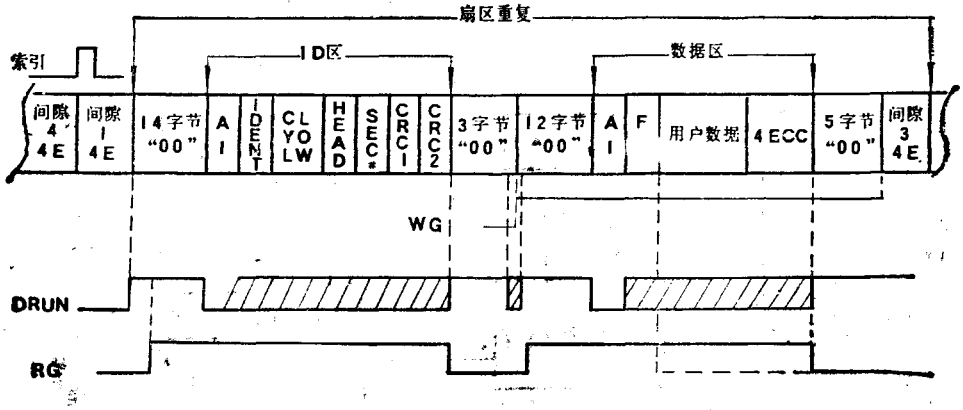


图11-8　WD1002-WX2 硬盘控制器功能框图

二、WD1002-WX2 硬盘控制器

WD1002-WX2 硬盘控制器是美国Wester Digital(西数)公司的产品,可使IBM PC或其兼容机配带1至2台符合ST506工业标准接口的温彻斯特磁盘机。最大可控读/写磁头数为八只，圆柱数1024，数据编码方式为MFM制，数据传输率5兆位/秒，每道17扇区，每扇区512字节，具有十九种操作。除此之外还有CRC校验、ECC纠错、写预补偿等功能。

WD1002-WX2控制器主要由单片机8049(WD1015)、WD1010-05硬盘控制芯片、WD1100-13 ECC纠错码生成芯片、扇区缓冲、数据分离和预补偿电路、中断控制逻辑、BIOS ROM(硬盘驱动程序)等电路组成,其功能框图见图11-8。8049单片机在控制器中起着主导作用，它管理着WD1010-05、WD1100-13及其它电路的有序工作，是整个控制器的核心。WD1010-05接收8049微指令而工作，对硬盘机进行读、写、格式化等操作,并完成数据的编译码。WD1100-13 ECC纠错码生成电路在执行写操作时，生成32位ECC码并紧接用户数据后写入硬盘;在执行读操作时读出磁盘数据的同时生成32位ECC码并与原记入磁盘的32位ECC码比较,若不相符则把出错信息传送给8049单片机,由单片机执行纠错程序，最大纠错长度11位。扇区缓冲由二片2114RAM组成,其缓冲深度为1KB。该缓冲区为主机与磁盘之间提供了至少为一个扇区大小的数据暂存区，扇区的长短可以是128、256、512和1024字节，这由单片机预置缓冲地址计数器而定。数据分离电路接收磁盘机MFM数据时钟混合序列脉冲,然后分离出读时钟RCLK，送入WD1010-05进行数据译码。该电路在全“0”或“全1”区产生DRUN信号，表示一个完整数据块



ID区
AI=0A时钟的AI数据
IDENT第0、1位圆柱高位地址
FE=0～255道
FF=256～511道
FC=512～767道
FD=768～1023道
HEAD=第0、1、2位为头号
第3、4位的00
第5、6位的扇区尺寸
第7位的坏块标记
SEC逻辑扇区号
数据区
AI=0A时钟的AI数据
F8=数据地址标志
用户数据=512字节

图11-9 记录格式

的开始。图11-9表示了DRUN信号与磁道格式的关系。写预补偿电路是为解决内磁道峰值漂移提高读出可靠性而设计的。可对MFM 制数据时钟混合序列中的时钟或数据位进行合适的提前或滞后，从而减小峰值漂移对读出可靠性的影响。减小写电流也是提高读出可靠性的一种方法。BIOS ROM 的硬盘驱动程序是主机软接口，安装在 C800～C8FFF 主机寻址范围内，主机可通过地址总线和数据总线随时读取。

主机在访问硬盘机前，先送一个命令块，指明在某一逻辑扇区进行读写操作。该命令块由6字节组成，从主机数据总线D_0 ～D_7 直接送入控制器扇区缓冲区中。内部单片机从缓冲区中逐条取出命令，进行命令分析，设置缓冲地址，接收主机数据。待缓冲溢出后即数据传送完毕，然后由WD1010-05从缓冲区中取得数据，经并/串转换、MFM制编码、写预补偿电路送到硬盘机。在发送数据的同时，WD1100-13 ECC 电路生成ECC码，放在数据之后送入硬盘机。这是执行写操作时数据通道的简单工作过程。执行读操作时，硬盘机数据经数据分离电路送至WD1010-05，经MFM译码、串/并转换后送至扇区缓冲等待主机读取。主机在接收到完成状态信号后，立即通过数据总线读取缓冲区中的数据。

1．内部电路简介

(1) WD1010-05硬盘控制器专用集成电路 WD1010-05 是西数公司专用集成电路，图11-10是该电路内部框图。表10-4是管脚信号名。现介绍主要电路的组成与简况。

①工作寄存器堆 WD1010-05专用集成电路内有九只寄存器，按地址A_0～A_2和$\overline{RE}$(读)、$\overline{WE}$(写)寻址，表11-4给出了九只寄存器存取情况。

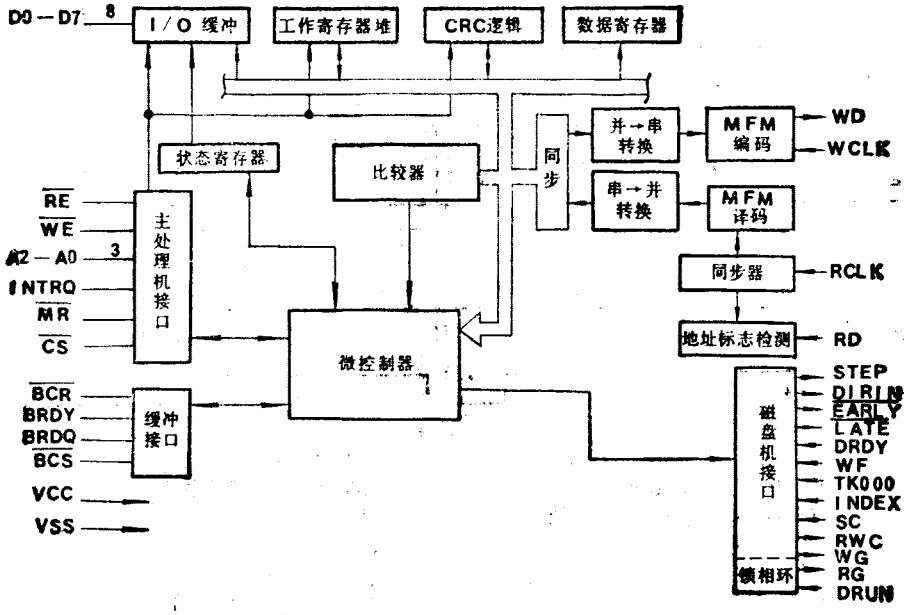


图11-10 WD1010-05 框图

表11-4 寄存器寻址表

A2	A1	A0	RE 有 效	WE 有 效
0	0	0	母线三态	母线三态
0	0	1	错误标志	写预补偿圆柱
0	1	0	扇区计数	扇区计数
0	1	1	扇区地址	扇区地址
1	0	0	圆柱地址(低)	圆柱地址(低)
1	0	1	圆柱地址(高)	圆柱地址(高)
1	1	0	扇区、台选、头选(SDH)	扇区、台选、头选(SDH)
1	1	1	状态	命令

表11-5 WD1010-05 管脚信号名

脚 号	符 号	信 号 名	脚 号	符 号	信 号 名
1	$\overline{BCS}$	缓冲片选	23	$\overline{EARLY}$	提前
2	$\overline{BCR}$	缓冲计数复位	24	WG	写选通
3	INTRQ	中断请求	25	WCLK	写时钟
4	NC		26	DIRIN	方向
5	MR	复位	27	STEP	步进
6	$\overline{RE}$	读允许	28	DRDY	硬盘机准备好
7	$\overline{WE}$	写允许	29	INDEX	索引
8	$\overline{CS}$	片选	30	WF	写故障
9	A_0	地址0	31	TRk "00"	"00" 道
10	A_1	地址1	32	SC	找道完成
11	A_2	地址2	33	RWC	减少写电流
12	D_7	数据7	34	DRUN	数据开始
⋮	⋮	⋮	35	BRDY	缓冲就绪
19	D_0	数据0	36	BDRQ	数据请求
20	V_{SS}	地	37	RD	读数据
21	WD	写数据	38	RG	读选通
22	LATE	延迟	39	RCLK	读时钟
			40	Vcc	+5V

(a)错误标志寄存器 该寄存器含有命令执行后的错误状态，各位定义如下：

位 号	7	6	5	4	3	2	1	0
名 称	BB	CRC	—	ID	—	AC	TK	DM

BB——坏块状态

在记录格式ID区内检测到坏块标志后置位。

CRC——校验错

在ID区中发生CRC校验错该位置位，出错时允许重试。若再次出错，状态寄存器第0位ERR置位。

ID——ID未发现

该位置“1”表示未找到正确的逻辑地址或者ID区中的CRC发生错误。

AC——错误命令

在DRDY无效或WF有效期间，传送命令或将一个未定义的命令码写入命令寄存器时该位置“1”，

TRK——“00”道错

在归零命令中发送1024个归零步进脉冲后，TRK“00”信号仍无效的状态下置位。

DM——数据地址标志未发现

在读出正确的ID区后未发现数据地址标志(F8)则置位。

(b) 写预补偿圆柱地址寄存器　该寄存器的值乘4即为RWC(Reduce write current)有效时的圆柱地址。凡在大于该圆柱地址上进行写操作，RWC都有效，使硬盘机减小一级写电流。

(c)扇区计数寄存器　在多扇区读/写时，该寄存器给出了读/写几个连续扇区。“0”表示连续读/写256个扇区，“1”表示只读一个扇区。

(d)扇区地址寄存器　该寄存器给出了读/写操作时的扇区地址。在多扇区读/写时给出的是数据交换的第一个扇区地址。

(e)圆柱地址寄存器　该寄存器的值是读/写磁头所要寻找的目的磁道地址，分高低两字节共10位，寻址范围0～1023道。

(f)扇区、台选、头选寄存器（SDH）　该寄存器各位定义如下：

位　号	7	6　5	4　3	2　1　0
定　义	EXT	SIZE	DRIVE	HEAD

b_6	b_5	扇区大小
0	0	256
0	1	512
1	0	1024
1	1	128

b_4	b_3	设备选择
0	0	1* 硬盘机
0	1	2* 磁盘机
1	0	3* 磁盘机
1	1	4* 磁扇机

b_2	b_1	b_0	磁头选择
0	0	0	0* 头
0	0	1	1* 头
0	1	0	2* 头
0	1	1	3* 头
1	0	0	4* 头
1	0	1	5* 头
1	1	0	6* 头
1	1	1	7* 头

EXT 置“1”数据区加写4个ECC字节。

(g)状态寄存器

该寄存器各位定义如下：

位　号	7	6	5	4	3	2	1	0
定　义	BSY	RDY	WF	SC	DRQ	—	CIP	ERR

BSY——忙

BSY为“1”表示WD1010-05正在访问硬盘机，单片机不应把新的命令送至命令寄存器。命令写入命令寄存器后BSY置“1”。除读扇区命令外，在一切命令完成后，BSY撤消；读扇区命令时在缓冲溢出后，该位也撤消。该位为“1”时所有寄存器中的各位都为非法指示。

RDY——准备好

表示准备好(DRDY)信号状态

WF——写故障

表示WF信号状态

SC——找道完成

表示SC信号状态

DRQ——数据请求

BDRQ信号状态，在存取扇区缓冲时置“1”。BRDY出现之前DRQ/BDRQ一直维持有效。BRDY表示操作完成。

CIP——正在执行命令

该位置“1”，开始执行命令，在复位前不应装入新命令。

ERR——出错

该位置“1”表示有不可恢复的错误存在。单片机读得该位后，必须读错误标志寄存器，以判定错误类型。在新命令写入命令寄存器后，该位复位。

(h)命令寄存器　单片机在装命令寄存器前，必须先把命令所需的辅助参数填入其它寄存器，一旦装入命令寄存器后，即开始执行命令。表11-6是WD1010-05的六条指令。

表11-6　WD1010-05指令表

指令类型	7	6	5	4	3	2	1	0
归零	0	0	0	1	R_3	R_2	R_1	R_0
寻找	0	1	1	1	R_3	R_2	R_1	R_0
读扇区	0	0	1	0	I	M	0	T
写扇区	0	0	1	1	0	M	0	T
搜寻 ID	0	1	0	0	0	0	0	T
写格式化	0	1	0	1	0	0	0	0

R_0～R_3：步进脉冲速率参数。

T：重试允许位为“0”，允许出错重试。

M：多扇区交换标志为“1”，多扇区交换。

I：中断允许位为“0”，在BDRQ有效时中断；为“1”命令结束时中断。

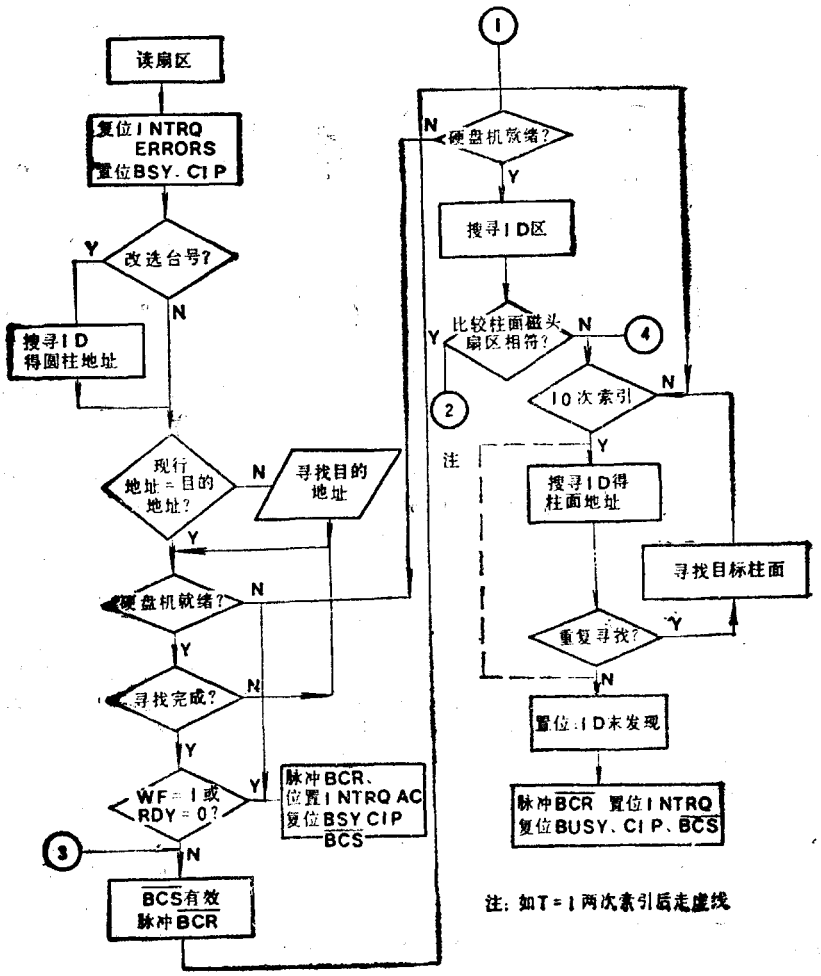
(2)指令执行过程例举

(a)读扇区指令执行流程见图11-11。

(b)写扇区指令执行流程见图11-12。

(2)写预补偿电路

图11-13是WD1002－WX2写预补偿电路。该电路由延迟线DL和数据多路转换器74S64组成。“EARLY”、LATE”为高电平时，C门选通，MFM延迟10ns。“LATE”有效B门选通，延迟20ns。“EARLY”有效时，A门选通，不延迟。LATE、EARLY不能同时有效。在通常情况下，EARLY、LATE为高电平，MFM序列延迟10ns，在需要脉冲前移补偿时，即不经延迟线DL直接送入74S64实现前移补偿。同理后移补偿时，延迟20ns后，送入74S64，即在10ns正常情况下再延迟10ns，实现后移10ns的补偿。预补偿信号即为预补偿控制信号。用户可通过软件程序预置该信号在某圆柱地址以后写操作时有效。不同厂家磁盘写预补偿的推荐起始圆柱地址见表11-7。



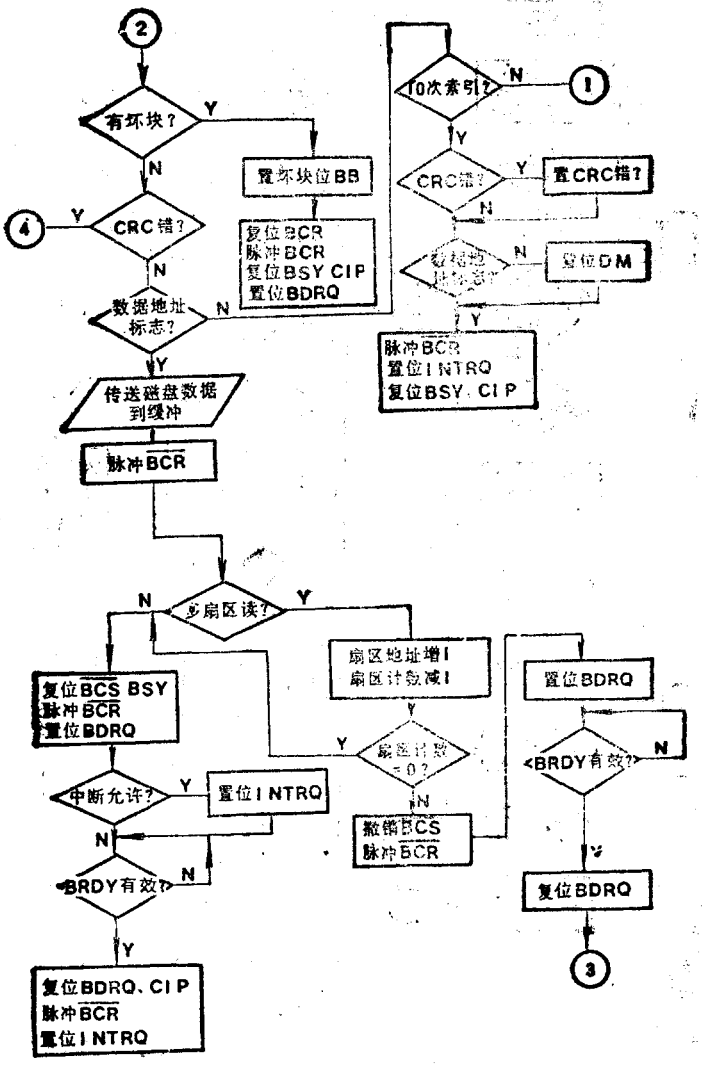


图11-11　读扇区流程图

(3)8049单片机

①8049单片机对两个界面的信号处理

控制器上联主机，有PC总线信号，下配硬盘机有 ST506 标准接口信号。8049 是通过它固有的两个 I/O，控制这些信号的。两个 I/O 输入输出口有如下定义：

P1口

位　号	7	6	5	4	3	2	1	0
信号名	$\overline{DIRIN}$	$\overline{C/D}$	DS—2	DS—1	I/O	HS—2	HS—1	HS—0

P2口

位　号	7	6	5	4	3	2	1	0
信号名	ECC ERR	TRK "00"	MR	RAS	$\overline{ECC\ CS}$	$\overline{ECC\ long}$	REQ	STEP

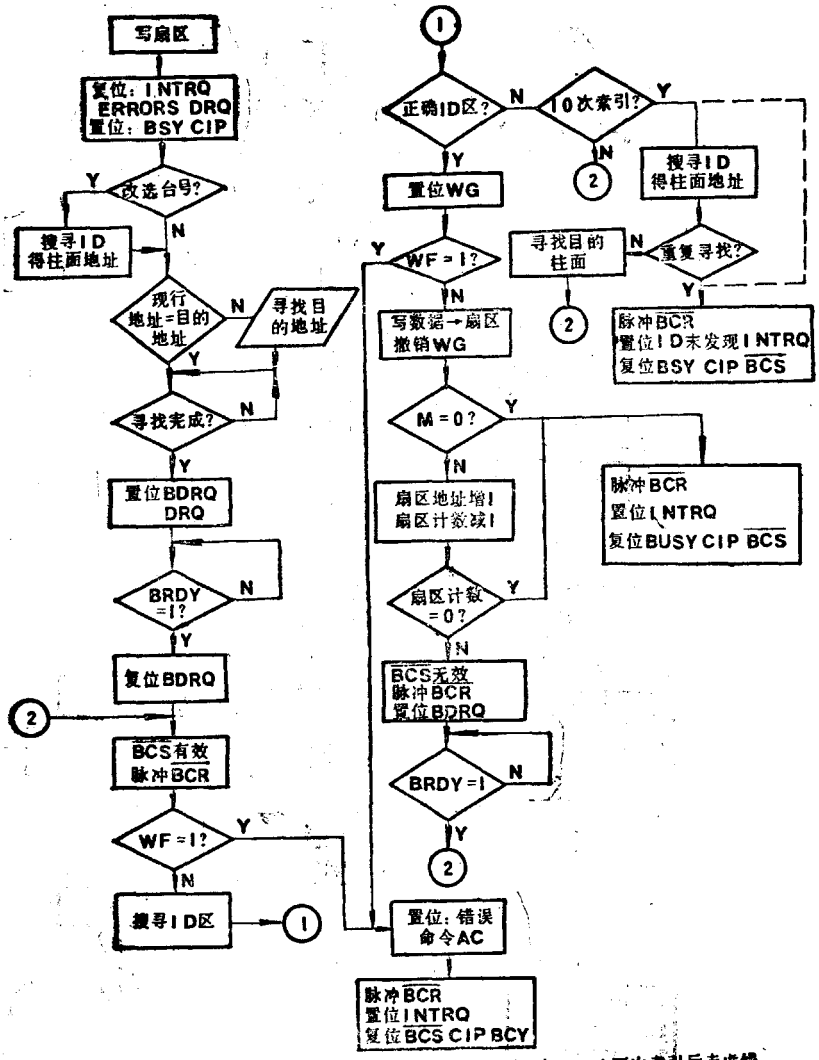


图11-12 写扇区流程图

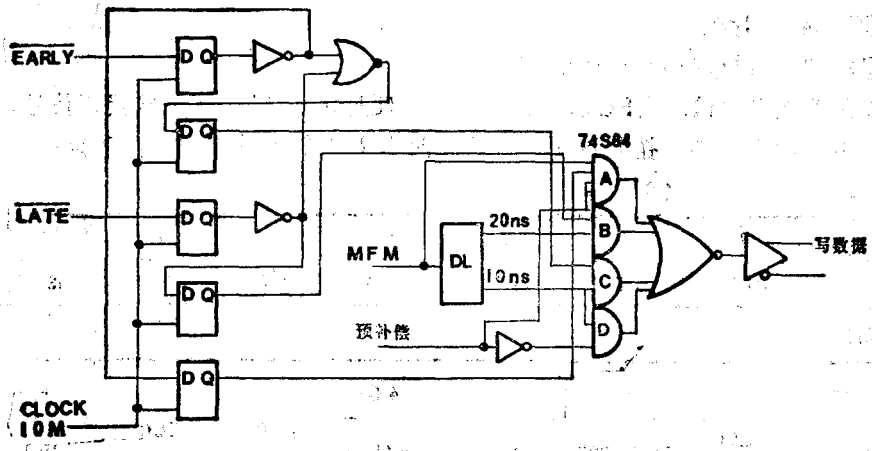


图11-13 写预补偿电路简图

表11-7 写预补偿圆柱地址推荐表

厂家	型号	圆柱数	磁头数	减小写电流圆柱地址	写预补偿圆柱地址
CMI	CM—5205	256	2	256	256
CMI	CM—5410	256	4	256	256
CMI	CM—5616	256	6	256	256
OLI	HD561	180	2	128	180
OLI	HD562	180	2	128	180
RMS	503	153	2	77	77
RMS	506	153	4	77	77
RMS	512	153	8	77	77
SEA	ST506	153	4	128	64
SEA	ST412	306	4	128	64
TAN	TM602S	153	4	128	153
TAN	TM603S	153	6	128	153
TAN	TM603SE	230	6	128	128
Ti	5 1/4+	153	4	64	64
RO	101	192	2	96	0
RO	102	192	4	96	0
RO	103	192	6	96	0
RO	104	192	8	96	0
RO	201	321	2	132	0
RO	202	321	4	132	0
RO	203	321	6	132	0
RO	204	321	8	132	0
MS	1—006	306	2	153	0
MS	1—012	306	4	153	0

P1口0～7位全为输出信号，0～2位为硬盘头选信号，三位可选8只读/写磁头。第3第6位和P2口的第1位是与主机通信时所要求的状态信号。第4、5位为台选信号。第7位步进电机方向信号。P2口第0位为步进脉冲，每产生一个脉冲，步进电机移动一道。第2、3、7位为ECC校验码生成电路的控制、片选、状态信号。第5位为硬盘控制电路复位信号。第6位为“00”道信号。第4位地址计数器复位信号。下面以主机向控制器发送命令过程来简述8049对I/O、C/D、REQ的处理经过。详见图11-14主机界面电路简图。

根据主机总线的约定，主机在访问控制器之前首先要选择控制器。控制器在闲置状态时接受选择，以$\overline{BSY}$作为选择信号(SEL)的响应，并且使$I/\overline{O}=0$、$O/\overline{D}=$“1”表示允许接收命令。当一切准备就绪，8049 P1口第1位输出为1，使REQ=1，此时主机接收REQ后即连续发出6个命令字节。每送一个字节后，缓冲地址计数器自动增“1”，直至

6个命令字节送完，地址计数器 2^8 位置“1”经反相后使 REQ 为“0”，命令传送结束。

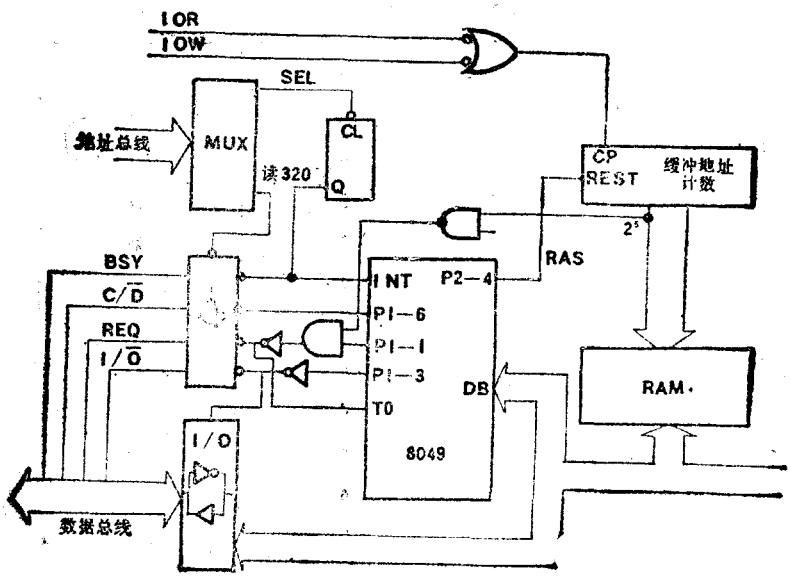


图11-14 主机界面电路简图

控制器处于闲置状态时，8049 单片机始终监视 $\overline{INT}$ 引脚，直到出现 $\overline{SEL}$ 信号为止。该段监视程序如下：

```
19      JNI 1D          等待 SEL
1B      JMP 19
1D      MOV R2, #2
1F      CLR A
        MOV R1, A
        IN A, P1
        ANL A, #37      保留 Ds-2 Ds-1 Hs-1
        ORL A, R1           Hs-1 Hs-0
        OUT P1, A           DIRIN=0  C/D=0 I/O=0
        CALL 7E7            预置地址计数器为2
        ORL P2, #2          REQ'=1
E5      JTO E5              等待命令传送完
        :
```

②8049单片机的外围电路图11-15是单片机外围电路简图。硬盘控制器集成电路、ECC纠错码生成电路、RAM及RAM地址计数器的高两位都一并挂在单片机的数据总线上，8049单片机通过LS137这个3-8译码器选择其中某一外围电路与其通信。8049单片机利用“MOVX A,@R0(R1)”指令，把R0(R1)指出的单元中的内容，读入累加器A中；用“MOVX@R0(R1)A”指令，把累加器 A 中内容送入 R0 或 R1 指定的单元中去。该指令外部时序如图11-16所示。

从简图中可见，ALE经反相后加在LS137的装数端(GL)。在ALE的下降沿，把总线上的R0或R1的值打入LS137，经译码后产生片送信号、复位信号和装数/计数信号(C/L)。

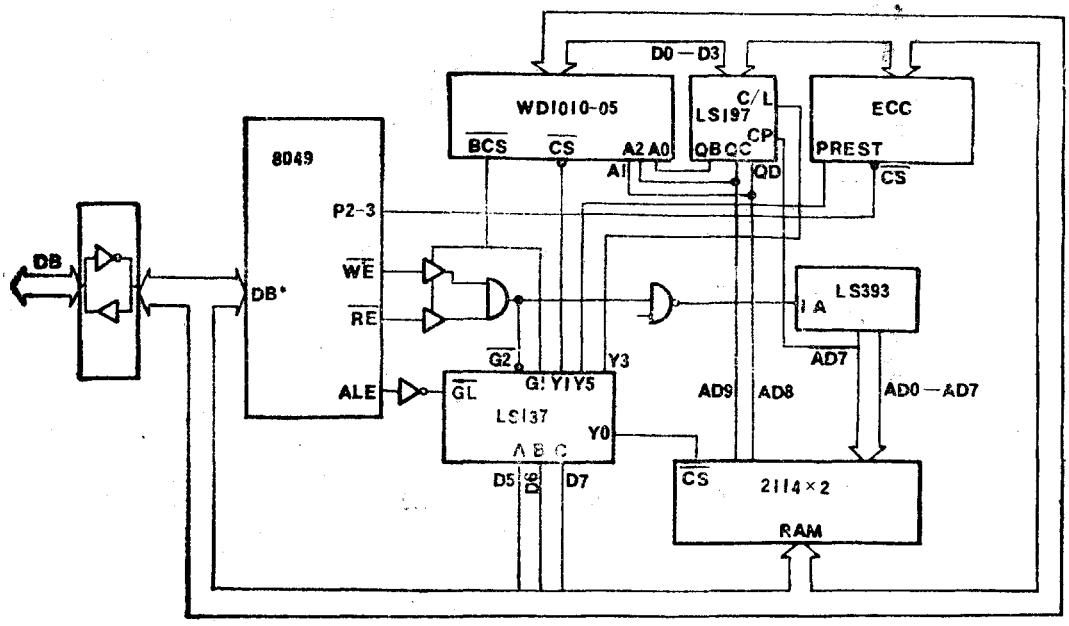


图11-15　单片机外围电路简图

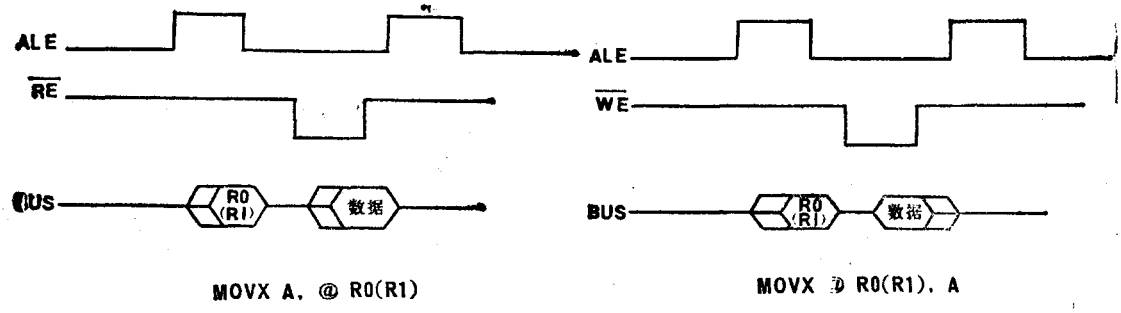


图11-16　指令时序图

在$\overline{RE}$或$\overline{WE}$为低时，LS137输出“使能”，即选中了$R_0(R^1)$所指定的外围电路，同时把累加器A中的内容，通过总线送给外围电路或把$R_0(R_1)$所指定的外围电路的内容，读入累加器A中。因此8049与某一外围电路的通讯，取决于R_0或R_1的值。$R_0(R_1)$的值通信对象有如下的对应关系。

R0 (R1) D7	D6	D5	通信对象
0	0	0	选择 RAM
0	0	1	选择 WD1010-os
0	1	1	地址计数(高位)
1	0	1	ECC 复位

如$R_0(R_1)$的第5至第7位为全“0”，则8049选中RAM，在读、写信号($\overline{RE}$、$\overline{WE}$)作用下，读出或写入RAM。同时RAM的地址计数器在读、写信号后沿作用下，自动增“1”，这样使得8049读、写外部RAM十分方便，不必外加地址

锁存器就能访问外部 RAM。但缺点是顺序访问，即访问RAM高地址段上的一个单元，必须先从低位开始进行多次空操作，才能最后访问到该单元。在硬盘控制器的 RAM 中存放主机与硬盘机之间交换的数据，并没有命令缓冲区。对这些在一般正常操作时是顺序存取，没有必要作任意访问。这样的设计，既符合使用要求，又节省了地址锁存器，而且也给程序设计带来方便。只要重复使用“MOVX A,@R0”或“MOVX@R0,A”指令就能逐个访问 RAM 单元。下面的一段程序是 8049 从外部 RAM 取数的一个实际例子

```
     CLR A
     MOV R0, #60
     ORL P2  #10          RAS置“1”清地址计数
     MOVX @R0, A          清高位地址计数
     ANL P2, #EF          RAS复“0”
     MOV R0, #0
     MOV R2, #2
     MOV A, R2
     JZ Ⅲ
Ⅰ    MOVX A, @R0          RAM地址计数预置02
     DJNZ R2, Ⅰ
     MOV R1 #20           内部RAM址地
     MOV R2 #6            访问6次
Ⅱ    MOVX A, @R0          从外部RAM02-07
     MOV @R1, A           单元读出，送入
     INC R1               内部RAM20-25单元
     DJNZ R2, Ⅱ
Ⅲ    RET
```

③控制器内部自诊断　控制器加电初始化后，8049即进入自诊断运行。先进行内部

表11-8　自诊断错误代码表

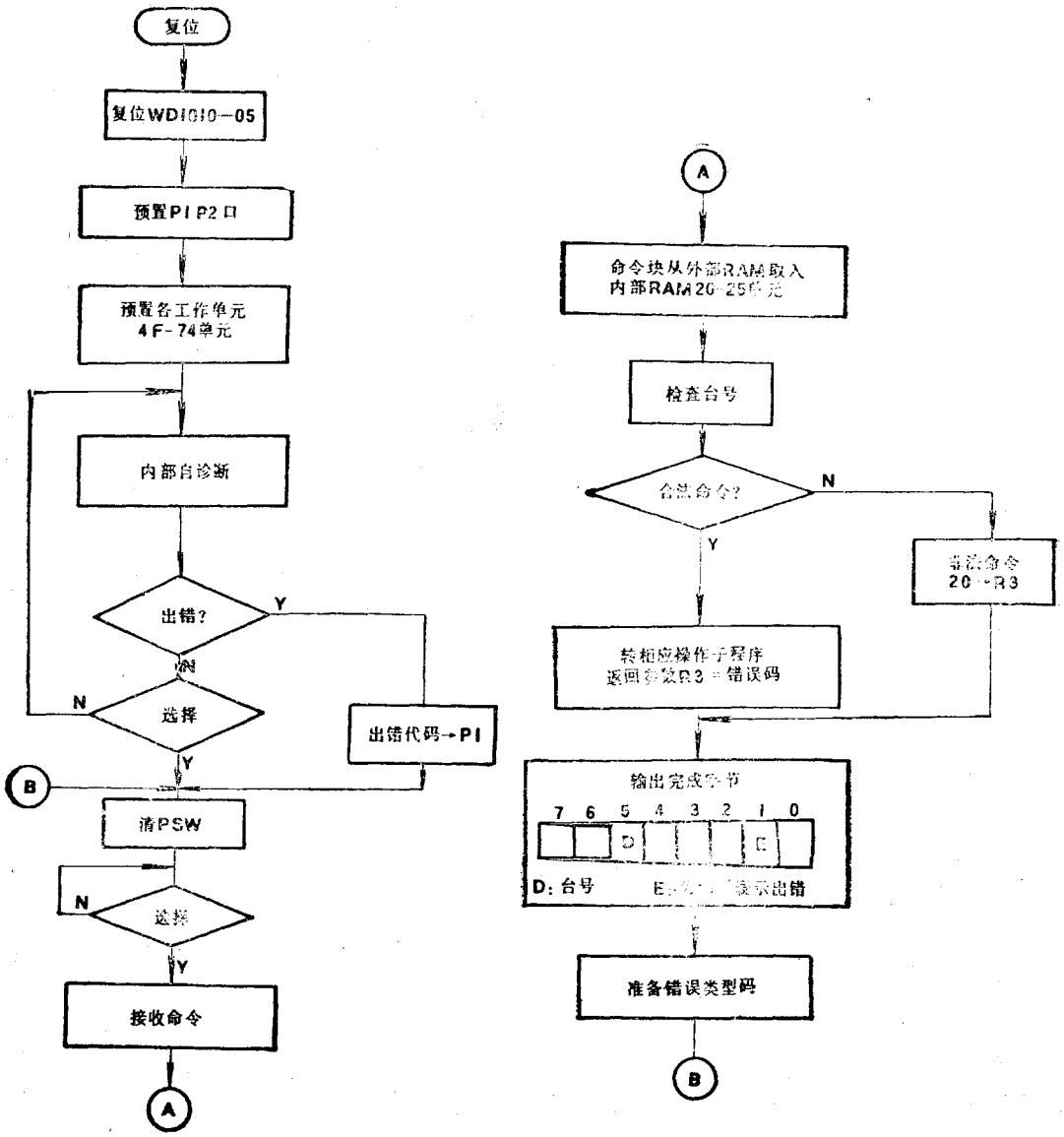
代　码	出　错　器　件	代　码	出　错　内　容
1	WD1010-05	4	内部 RAM
2	WD1100 ECC电路	5	内部 ROM
3	外部 RAM		

表11-9　系统诊断错误代码表

代　码	出　错　内　容	代　码	出　错　内　容
0 0	无错	1 8	可纠数据错
0 3	写故障	1 9	坏道标志
0 4	驱动器未就绪	2 0	非法命令
0 6	“00”道未发现	2 1	非法磁盘地址
0 8	硬盘机正在找道	3 0	扇区缓冲错
1 1	不可纠的数据错	3 1	ROM 校验错
1 2	扇区地址标志未发现	3 2	ECC 电路错
1 5	找道错		

ROM自校验，计算出“校验和”与在ROM固定单元中的值相比较，判别正确与否。用浮动“1”检验内部RAM和外部RAM。对ECC电路和WD1010-05硬盘控制器集成电路进行读写，判断两块集成电路工作是否正常。8049单片机对每个诊断均赋予一个表示经诊断出错的代码，在PI口输出。自诊断错误码见表11-8。除上述诊断功能外，还可以向单片机预置能指示硬盘子系统内的各种故障的“错误码”。主机通过执行一条命令就可读取这些“错误码”。这样，给子系统诊断带来方便。表11-9是子系统错误代码表。

④8049程序分析　整个程序采用模块式结构，分成四个功能块：命令接收，命令分析，命令执行和命令后期处理。在开机自诊断或执行完前一条命令后，进入“命令接收”程序。该模块主要完成与主机的应答和接收主机送来的命令。接收命令后进入“命令分析”，判别所接收的命令是否合法？若合法，跳转相应命令程序，执行命令。各命令



11-17　程序主框图

执行之前，首先判别命令参数是否合法，然后分解命令，调用子程序，执行命令，这些由“命令执行”功能块完成。任一命令执行后，都要进入“命令后期处理”模块，在这一期间检查以上三个过程中，有否出现错误？准备输出“命令完成”字节和出错代码。然后无条件转入“命令接收”程序。

8049程序主框图见图11-17。

主机可从322口读取跨接线的状态，从而得知用户目前所配带的硬盘机类型，在控制器初始化时，主机把BIOS中的硬盘机参数，预置给控制器。修改BIOS可以使控制器配带其它类型的硬盘机，但最大道号不能超过1024，读/写磁头不能大于八个。

2、可挂接的硬盘机种类

WD1002-WX2可带两台容量不同的硬盘机，控制器中的BIOS已经设置了四种不同类型的硬盘机和容量的参数；306道，2头；375道，8头；306道，6头和306道，4头。用户可根据已有的硬盘机，选择相对应的参数。如用户现有硬盘机参数与以上四种参数都不相符，则可修改BIOS使之相符。控制器中有四只跨接线E_5～E_6、E_7～E_8、E_9～E_{10}、E_{11}～E_{12}。前两只对应于0#台硬盘机的选择，后两只对应于1#台硬盘机。表11-10给出了对硬盘机类型选择方法。

表11-10 硬盘机类型选择

容　量	E5～E6	E7～E8	E9～E10	E11～E12
10MB	短 路	短 路	短 路	短 路
15MB	短 路	开 路	短 路	开 路
24MB	开 路	短 路	开 路	短 路
5 MB	开 路	开 路	开 路	开 路

三、XEBEC 硬盘控制器

XEBEC公司生产的5.25英寸硬盘控制器，能与IBM PC/XT及其兼容机配套使用。一台控制器可挂接二台采用ST506/412接口的硬盘机。这种控制器的控制核心是Z80A微处理器，外接一只2732EPROM存储器，用特定的微程序协调各部分电路的工作。电路中采用了由XEBEC公司开发的几块专用集成电路。在1983年以前应市的产品中，只包括XEBEC3198-0045硬盘控制，和XEBEC3198-0009ECC校验与纠错两块大规模集成电路(LSI)，其余电路都用中小规模集成电路组成。1983年以后推出的产品，型号未变，只是将电路的集成度提高，在原有的基础上又增加了XEBEC3198-0059（译码电路）、3198-0058（接口电路）3198-0057（数据分离及写前补偿电路）等四块LSI。这两种控制器是完全可以通用的。

XEBEC控制器的电路板有一只8位的微型开关，用于设置控制器在微型计算机I/O总线上的地址及装载引导程序(BIOS)的EPROM在主机内存中的入口地址。产品出厂时开关的1、2、5三位处于断开状态，3、4、6、7、8各位处于闭合状态，对应的I/O地址为320，引导程序EPROM在主机内存中的地址为C800：000。较新的电路板上有三组跨接线插座，一组为“I/O Address”跨接线插座，用于设置控制器在主机I/O总线上的端口地址，无特殊要求时，1、2、3短接，4开路，对应于I/O端口地址为320。第二组

为“EPROM Address”，确定存放引导程序(BIOS)的入口地址。无特殊要求时，对应于入口地址为C800：000。两种电路板上都有四对称为“option”的跨接插座，当控制器的I/O端口地址为320时，只用1、2两对。这两跨接线的短路，开路有四种组合，对应着四种不同类型的硬盘机、见表11-11

11-11 XEBEC控制器跨接线的跨接方式

跨接线		磁盘圆柱数	磁头数	格式化容量
1	2			
×	×	306	4	10MB
√	×	375	8	26MB
×	√	306	6	15MB
√	√	306	2	5MB

注：×—跨接线不接，√—跨接线接上

与前两种硬盘控制器一样，在挂接一台新的硬盘机时必须利用DTCFMT初始格式化软件或利用debug命令由C800：05的地址调BIOS中的程序，对硬盘进行初始格式化。

第十二章　硬盘机的使用和维修

本章详细讨论小型温盘机的使用、保养、诊断、故障排除等技术。

第一节　硬盘机的使用

硬盘机是集精密机械，微电子电路、电磁转换为一体的比较娇贵的外存储装置，在微型计算机系统中起着举足轻重的作用。自从采用了温彻斯特技术的5.25英寸硬盘机问世之后，可靠性指标有了突破性的提高，正常使用条件下的平均无故障工作时间（MTBF）已超过20000小时。但若使用不当，硬盘机也会经常出现故障，甚至损坏，将使整个微型计算机系统无法运行。既延误了工作，也造成经济损失。根据粗略的统计，当前我国微型计算机系统的故障几乎有40%是硬盘机的损坏所引起的。其中又有相当一部分是使用者未根据硬盘机的特点，采取切实可行的保护措施所致。那么使用中应注意哪些问题呢？

1. “00”道（TRK “00”）的保护

硬盘机在正式使用之前，如同一张白纸，不能直接接入微型计算机系统。必须首先格式化，即利用软件对盘片上数据记录区域的每条磁道，按一定的格式进行扇区分段，并标出数据块的记录区域，为与CPU交换数据作好准备。在格式化的过程中，对盘片表面质量也同时进行了检查。若发现有不适合于数据记录的“坏块”，需将“坏块”的有关参数——磁道号，相对于索引的位置以及“坏块”的长度，制成表格，存放在“00”道上。另一方面磁盘操作系统的系统文件，用户文件目录也存放在“00”道上。系统在上电初始化后，CPU将“00”道上的信息调入内存，以备随时使用。因此，一台合格的硬盘机，在出厂时，应保证所有盘片的“00”道是没有任何缺陷的，为使硬盘机能在系统中正常工作，还必须保证“00”道不在使用中遭到损坏。

采用温彻斯特技术的硬盘机的结构特点之一，是在盘片不转或转速较低时，磁头与盘片表面是接触的。只有转速达到额定值时，依靠空气动力，磁头才能以一定的飞行高度（约0.4～0.3μm）浮起于盘片表面上。盘片在制造时，表面涂有一层特殊的润滑物质，防止硬盘机在启动期间，因磁头与盘片之间的摩擦而损伤磁头和盘片。仅管如此，如果磁头经常在数据区起飞着陆，长此以往，也会大大缩短盘片和磁头的使用寿命，甚至使盘片擦坏。因此制造厂家在硬盘机的制造过程中，将数据区之外最靠近主轴的盘片表面区域规定为着陆区。要求使用时，磁头只能在此区域内起飞与着陆。这是因为在此区域内盘片的线速度较低，盘片在启动与停转时，磁头与盘片之间的摩擦不很剧烈；加之该区域内不记录用户数据，即使盘片表面被擦伤了，也不影响正常的使用。对于用音圈电机或力矩电机作为磁头驱动机构的中、高档硬盘机，在头盘组件（HDA）内都有磁头组件复位弹簧，只要一断电，在复位弹簧的作用下，磁头立刻快速转移到着陆区，保证磁头的起飞、着陆总在着陆区进行。对于用步进电机作磁头定位的硬盘机，

因无复位弹簧，断电前一瞬间磁头处于什么磁道位置，断电后磁头仍然停在老地方。下次启动时，磁头则在原来的磁道上，经一段时间与盘片摩擦之后才能浮动起来。用户在关机时，磁头总处于数据区，且处于“00”磁道位置的比例较大。这样，在盘片启动加速和停转时，磁头就象飞机一样，以“00”磁道为跑道，在上面“起飞”与“着陆”。这无疑对“00”磁道是十分危险的。已经发现，有很多磁盘机运行不正常是“00”道被划伤所致。为保护好“00”道，对采用步进电机定位的硬盘机，必须借助于软件，在关机之前使磁头进入到专用的着陆区。常用的方法是，在工作结束停机之前，应键入DOS 2.0支持下的“Shipdisk”或“Park”或“LOCK306”三种指令中的一种，当显示器屏幕上出现“OK”字样时，表示磁头已进入着陆区，此时可关闭系统的电源。对于磁道数为615的20MB的硬盘机，要用“LOCK640”专用软件使磁头进到615道之内的着陆区。

2．保持使用环境的清洁

硬盘机的头盘组件(HDA)是密封体，仅以带有超精过滤纸的呼吸孔与外界相通，因此它可以在普通的无净化装置的室内环境中使用。温盘机的这一优点使某些用户以为使用环境脏一点没关系，这显然是一种误解。环境中灰尘过多，会被吸附到印制电路板的表面及主轴电机的内部。在较潮湿的环境中使绝缘电阻下降，轻则引起工作不稳定，重则使某些电子器件损坏，或某些对积灰敏感的传感器不能正常工作。另一方面，使用环境中的灰尘过多或太潮湿，也会使呼吸过滤器堵塞，造成内部压差不平衡，影响头盘组件内的空气循环，进而影响磁头的浮动状态。因此，要保持环境卫生，减少空气中的含尘量，必要时应将印制电路板拆下，清除板上及主轴电机转子部分的积灰。

3．注意防静电

硬盘机中采用了许多微电子器件，其中的单片机是采用MOS工艺制成的大规模集成电路，对静电特别敏感。硬盘机的外壳一般都有接“地”的插片。在加电之前就应使其接入系统的“地线”，切不可加电启动后随意插拔。在硬盘机的安装，或拆下维修时，不可在有橡皮或塑料垫板的工作台上进行。因为这种工作台往往常带有数百伏的静电，会使单片机这样的MOS器件损坏。有条件时，应在防静电的工作台上拆装。在拆装过程中，最好也不要用手接触到印制板的焊点，因为人手上也会带有一定的静电。硬盘机拆下存储或运输时，一定要装入抗静电的塑料袋之中，不可随便找一块塑料薄膜替代。

4．减少震动与冲击

硬盘机是十分娇贵的精密设备，工作时磁头在盘片表面的浮动高度只有0.5～0.3μm，不工作时，磁头与盘片是接触的。盘片表面的磁层一般只有0.5～1μm的厚度，金属薄膜盘片的磁层则更薄。因此在工作时或关机后，主轴电机尚未停转之前，严禁搬动硬盘机，以免磁头与盘片产生撞击而擦伤盘片表面的磁层。即使在电机停转之后，如欲折卸或挪动位置，也应首先使磁头移动到着陆区，然后再轻拿轻放。有些维修的硬盘机，故障很可能出在电路板上，若只是作简单的包装，未采取任何减震措施就通过铁路托运或邮寄到修理单位，很容易使磁头划伤盘片，甚至使钢带断裂引起整台机器报废。

5．合理的使用温度

硬盘机的主轴电机、步进电机及其驱动电路都是产生热量的热源，在使用中要严格控制，不使硬盘机周围的环境温度超出规定的范围。根据硬盘机的技术规范，一般的使用温度范围为10℃～40℃。考虑到有的硬盘机要装入主机的机箱之中，在无空调设备的普通房间里，在夏天，主机机内的温度会超过40℃，此时硬盘机因散热不好，自身的温度会很快升高。这不仅会使读/写可靠性降低，甚至会使设计时参数选用十分临界的个别器件损坏。这种现象对两台叠装在一起的半高硬盘机尤其严重。因此，在炎热的夏天，要注意监测硬盘机周围的（即主机机箱内或硬盘子系统机箱内）的环境温度，不要超出产品的许可的最高温度上限。在潮湿的霉雨季节，要注意使环境干燥，或经常给系统加电，靠其自身的发热，将机内水汽蒸发掉。

第二节　硬盘机的故障诊断

硬盘机是无需作保养性维护的高可靠性电子机械设备。一般也没有供用户调节的参数，因此大大减轻了用户使用中的维护保养的负担。但可靠性再高的设备也还会出故障。如何判断故障，找出故障的部位，是维修硬盘机的第一步。对不同的对象，诊断故障的要求是不一样的。对一般用户，只要求能判断运转不正常的硬盘存储子系统，是控制器有毛病还是硬盘机出故障，然后，将有故障的硬盘机送维修站进一步诊断。对具备一级维修能力的维修站，应通过更换印制电路板或头盘组件（HDA）的方法，判断是电路部分不正常还是头盘组件不能工作。对于具备二级维修水平的维修站，应利用各种手段找到具体的故障部位，设法更换损坏了的器件或部件。下面对如何利用计算机作故障诊断的具体方法加以说明。

一、硬盘控制器与硬盘机的故障隔离

硬盘控制器、硬盘机及其连接电缆是硬盘存储子系统的基本组成部分，当该系统失效，即硬盘不能引导或操作系统无法自举时，表明硬盘存储子系统某环节出现了故障。若用户有第二套工作正常的子系统，则对控制器、电缆、磁盘机采取逐个替代的方法，可很快确认出毛病的环节。若没有第二套子系统，则必须运用软件来进行故障部位的诊断。

1. 运用用户诊断软件查找故障

PC系统中，在DOS2.0支持下的诊断软件有多种，其中CDCFDIAG子系统诊断软件能以较快的速度检测控制器与硬盘机的基本工作状况。使用时，首先启动主机，当硬盘子系统工作正常时，显示器屏幕上会出现“1 Hard DisK”（控制器只挂接了一台硬盘机的情况）的字样。接着系统引导成功，而出现启示符。当硬盘子系统工作不正常时，屏幕上会显示出错信息：

```
××××
0Hard DiSk
Error. (RESUME= "F1" KEY)
```

若键入“F1”，则可通过软盘机强行进入DOS引导。在出现启示符A>之后，将CDCFDIAG诊断软盘片插入A软盘机之中，键入CDCFDIAG并回车，则屏幕上将出现如下信息：

```
                    FIXED DISK DIAGNOSTICS
          Version 1.0 Copyright Control Data Corporation 1984


Enter the Drive to test (ie1, 2)?

                    FIXED DISK DIAGNOSTICS
          VerSion 1.0 Copyright control Data Corporatior 1984
                          —NOTE—
  • •  The Fixed Disk must have been Previously formatted        • •
  • •  before the diagnostsic tests will Operate properly.      • •
  • •  The diagnostic tests are preset to run automaically.     • •
  • •  One Pass of each test will be run if an error is         • •
  • •  encountered the testing will halt so that the service.   • •
  • •  Code may be recorded.

                    Begin test? (Y/N)?
          DRIVE SELECTED Max Cyl 374 Max Hd 7

                    FIXED DISK DIAGNOSTIC TESTS
                          TEST MENU
                          Drive 1
Completed      0   Controller RAM Diagnostic
Completed      1   Controller Internal Diagnostic
Completed      2   Write / Read Sector Buffer
Failed         3   Seek Tests
Failed         4   Drive Diagnostic
Failed         5   ECC Test Cylinder (374)
Failed         6   Write / Read Test Cylinder(374)
Failed         7   Random Read
Press R to repeat the tests or X to exit.

                          PASS1
```

系统自动地对控制器和硬盘进行诊断，并在屏幕显示出某一项测试“完成（Completed）”或“失败（Failed）”的字样。这样就可判断子系统的故障部位。

控制器在与主机交连的界面上有故障时，例如存放引导程序的PROM失效时，则强制引导也会失败，此时可立即断定是控制器的工作不正常。

2. 利用初始格式化软件查找故障

PC系统最常用的初始格式化软件是 DTCFMT，在正常引导或强制引导成功后，将录有DTCFMT 软件的盘片插入磁盘机A中，键入DTCFMT，调用这一初始格式化程序，若能成功地进行下去，则表明控制器的工作完全正常；若出现01错，则表明硬盘机的输出状态信号不正常；若出现20错，则表明硬盘机无索引信号输出。如用户手中无 DTC-FMT软件，则可调用 debug 命令，在启示符之后 键入 g = c800：05 则 可 达到同样的目的。

3. 利用控制器的特殊命令字节查找故障

如用户手中有硬盘控制器较详细的技术资料，且对控制器的工作流程比较清楚时，可利用控制器的命令字节查找子系统的故障。现以 DTC—5150BX控制器为例加以说明。

在系统引导成功之后，键入 debug 命令，出现启示符之后，要根据表 12-1 键入相应的I/O入口地址。在键入一条新命令之前，首先要通过“0322”的命令选择控制器，再通过“I321”命令读状态寄存器的内容。状态寄存器各位的定义如下：

7	6	5	4	3	2	1	0
d	d	INTR	DRQ	BUSY	C/$\overline{D}$	I/$\overline{O}$	REQ

d：不用

INTR(IRQ)：中断请求；表示发生中断。

DRQ：DMA请求；控制器准备DMA传送，传送方向由I/O决定。

Busy(Selected)：表示控制器已被选中。

C/$\overline{D}$：命令/数据；“1”表示传送命令或状态字节；“0”表示传送数据字节。

I/$\overline{O}$：输入/输出；“1”表示输入，“0”表示输出。

REQ(READY)：请求位；表示控制器已准备好与主机进行数据/命令的传送。

在控制器作好接受命令的情况下，根据所要选择的命令类型，键入六个字节的命令块。待命令执行完之后，再键入表12-2所示的读运行结果命令(03命令)，将执行命令后的状态字节读出，以判别命令的执行结果。03命令执行后，控制器将四个字节的状态内容送到数据寄存器，主机通过读数据寄存器就能获得运行中出错的信息。四个状态字节的格式如表12-3。

表12-1 I/O端口地址

地　址	读　操　作　(I)	写　操　作　(O)
320	数据输入寄存器	数据输出寄存器
321	状态寄存器	控制器复位
322	硬盘机类型	选择控制器
323	备　用	DMA/IN

表12-2 03命令字节表

字节	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	硬盘机设备号			0				
2	0							
3	0							
4	0							
5	0							

表12-3 命令执行后的状态字节

字节	7	6	5	4	3	2	1	0
0	BV	0	错误类型		错误代码			
1	硬盘机设备号			头号				
2	高位圆柱号		扇区号					
3	低位圆柱号							

• Bv=1 表示 1～3 字节的内容包含了出错时的有效块地址。

在 DTC-5150BX 中出错类型的定义为：

00——与硬盘机有关的错误——0类错；

01——与控制器有关的错误——1类错；

10——与命令有关的错误——2类错；

11——其他错误——3类错；

错误代码的定义为：

(1)0类错(硬盘机出错)出错代码：

0——无错误状态；

1——无索引脉冲信号；

2——4秒内找道未完成；

3——写故障；

4——硬盘机未准备好；

6——无“00”道信号；

8——找道正在进行。

(2)1类错(控制器)出错代码：

0——ID读错，ID 区内 ECC 错；

1——读期间有不可恢复的数据错；

2——地址标记未发现；

4——记录区未发现，即找到了正确的圆柱号，头号，但扇区号不对；

5——找道错，即磁头定位在错误的圆柱上或选择了错误的磁头；

8——可恢复的数据错；

9——发现坏块；

A——格式化错，控制器发现在作“Check Track”命令时，硬盘机的格式不是所要求的；

C——不能读替代磁道；

E——企图直接对替代磁道存取数据；

(3)2类错(命令错)出错代码：

0——主机发出非法命令；

1——非法地址，即地址超过最大地址；

(4)3类错(其他)出错代码：

0——RAM错，在进行RAM诊断时出错；

1——PROM校验和错；

2——ECC多项式错。

根据屏幕上出现的出错信息，对照上述代码的定义，就可判断温盘子系统的故障所在。下面以一台无“00”道信号输出的硬盘机为例，对如何利用03命令读出出错信息加以说明。

首先发选择控制器的命令，并检查状态寄存器内容：

A>debug

-0322 00；选择控制器

-i321；读控制器状态寄存器

CD；表示控制器被选中，并允许主机发送命令。

接着发一条寻找命令(0B命令)，其六个字节的内容如表12-4所示。屏幕上将出现如下信息：

表12-4 寻找命令字节表

字节	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	0	1	0	1	1
1	硬盘机号				头号			
2	高位圆柱号				0			
3	低位圆柱号							
4	0							
5	控制字							

* 控制字在寻找时可用00代替。

.....

CD

-320 0B；寻找命令第一个字节

-320 00；“0”台硬盘机，“0”号磁头

-0320 00；高位圆柱号“0”。

-0320 FF；低位圆柱号为127(可以在0~127之间选择)。

-0320 00；寻找命令第5个字节。

-0320 00；寻找命令第6个字节。

-0322 00；再次选择控制器。

-i321；读控制器状态字。

CD；控制器再次被选中，准备接受新命令。

-0320 03；输入03命令第一个字节

-0320 00；03命令第二个字节

-0320 00；03命令第三个字节

-0320 00；03命令第四个字节

-0320 00；03命令第五个字节

-0320 00；03命令第六个字节

-i320 读执行03命令后的状态字

06 表示硬盘机出错，无“00”道信号输出。

-……

利用03命令，只能诊断硬盘机的状态信号是否正常，对于读/写方面“故障”尚需用其他方法诊断。

二、利用IBM PC/XT 诊断故障

5.25英寸硬盘机常见故障可分成：状态信号故障；读/写故障；“00”道损坏；磁头定位系统故障；转速失控；盘片划伤等几种。对这些故障，如用户没有对硬盘机作脱机测试的仪器设备，对如何正确运用硬盘控制器指令亦不熟悉，则可充分利用IBMPC/XT在DOS2.0支持下的一些基本手段，进行诊断，进一步缩小故障的范围。

1. 硬盘机状态信号的故障

硬盘机作为一个微型计算机系统外部设备，它的最终目的是用于数据存储与取出。为此磁头的定位、盘片转速的稳定、数据的写入与读出等三大部分的工作必须有机协调，才能与主机实现正确“对话”。表征这三大部分正常工作与否的状态信号，通过命令电缆传送到硬盘控制器，它们是：

① 磁盘机准备好(Ready)；

② “00”道信号(Track “00”)；

③ 写故障(Write Fault)；

④ 找道完成(Seek Complete)，

⑤ 索引信号(Index)。

这五个信号中，只要有一个不正常，就不能进行数据读/写。引起状态信号不正常的原因有三个：第一，硬盘机加电初始化失败，硬盘机准备好、寻找完成，“00”道信号都是高电平(逻辑假)；第二，命令电缆断线或接触不好；第三，形成状态信号的逻辑电路器件损坏。对于第一种故障可以在加电启动期间，通过仔细辨听主轴电机有否转动，磁头有无自检寻找的声音来鉴别，这需要一定的经验。对第二种故障，通过更换命令电缆可很快获得结论。对于第三种故障，需通过系统运行，靠软件来确诊。下面就这五个状态信号有故障时，在IBM PC/XT系统中的表现形式，予以说明。

(1) 无“准备好”信号(Ready为高电平) 硬盘机工作正常时，微型计算机系统加电之后，利用软盘引导，将在显示器的屏幕上出现“1 Hard Disk”(挂有两台硬盘机时为“2 Hard Disk”)的字样。接着DOS2.0操作系统引导成功，连续敲击三次回车键

之后，屏幕上出现启示符“A>”，硬盘子系统即可进入正常运行。当硬盘机无准备好信号输出时，系统上电后屏幕上将出现：

```
1701(04)
0 Head Disk
Error; (RESUME= "F1" KEY)
```

的字样。键入“F1”，则可利用软盘机强制进行DOS2.0操作系统的引导。若在此情况下调用硬盘C的文件，会在屏幕上出现“Invalid Disk”的字样；若执行“DTCFMT”写地址标记的初始格式化程序，则显示器上会出现如下字样：

```
Error during formatting, code: ol
```

这两种显示都表示硬盘子系统上电引导失败。

（2）无找道完成信号（“Seek Complete”为高电平） 系统上电后，硬盘机的面板指示灯亮，一直持续数十秒钟（正常时指示灯只是闪烁一下），接着屏幕上出现：

```
1701(02)
0 Hard Disk
Error; (RESUME= "F1" KEY)
```

按“F1”键后可重新进入DOS2.0。作硬盘文件调用和作初始格式化时，也会出现如同“无准备好”信号一样的结果。

（3） 无“00”道信号（“TRK “00””为高电平） 系统上电后，控制器因未取得“00”道信号，则反复发出寻找“00”道的复位命令，使硬盘机一直处于寻找状态。前面板的指示灯发亮的时间约持续半分钟左右，控制器不再发硬盘机复位命令，指示灯熄灭，显示器屏幕上出现：

```
1701(OC)
0 Hard Disk
Error(RESUME= "F1" KEY)
```

按压“F1”键后，虽能重新进行DOS引导，但C盘不能使用，初始格式化时会出现“01”错。

（4）有写故障（Write Fault为低电平） 系统上电之后进入正常的DOS引导，屏幕上出现：

```
1701(03)
0 Hard DiSk
Error(RESUME= "F1" KEY)
```

利用“F1”键再次引导成功后，硬盘C仍无效。

（5） 无索引信号（Index为高电平） 系统上电后，能进入正常的DOS引导，屏幕上会出现“1 Hard Disk”的字样，但转入对硬盘C进行读/写时则出错；对硬盘机进行初始格式化时（调用DTCFMT软件），会出现“Error during formatting, Code: 20”的出错信息。

根据1701类的错误信息码及格式化出错信息码，很快可判断出五种状态信号中的那一个是不正常的。

2．数据读/写故障

硬盘机的数据写入和数据读出是两种不同的功能，当这两部分有故障时，硬盘机的初始化、磁道的寻找、转速的控制都应能正常进行，但完成不了数据的存储与读出。与读/写有关的部分主要包括了磁头、盘片及读/写电子线路，其中读/写电子线路引起的读/写

功能失常可用下列方法辨别：

(1) 数据读出故障读数据无正常输出时，利用硬盘机作系统引导，或由软盘机转向硬盘机时，屏幕上都会出现“Invalid Drive Specification”的字样，表示硬盘机读不出信号。为进一步确认，在作完“DTCFMT”初始格式化之后，利用“FDISK”指令进行DOS分区，在无读出数据的情况下，屏幕上会出现“Error reading fixed-disk”的字样，表示建立DOS分区失败。

(2) 写数据故障 当硬盘机不能进行写操作时，或“WG”有效但写数据不能翻转时，硬盘机在系统中可正常的自举与引导，但进行文件修改或拷贝时屏幕上会出现“Disk error reading drive C”，表示数据写不进。

磁头及盘片的损坏也会引起读/写出错，利用下面将要介绍的流程图和诊断软件，可以将这类错误与读/写电子线路引起的读/写错区别开来。

3. “00”道损坏

前面已叙述过，零磁道上记录有操作系统文件，用户文件目录及硬盘坏磁道登记表等。系统上电后，要将这此内容读入主机内存中，以备随时调用。当“00”道损坏或“00”道上的信息遭到破坏时，系统上电后可按以下几步操作加以判断：

(1) 由硬盘C直接自举引导时，屏幕上出现“Invalid hard disk 的字样，表明自举失败，硬盘机工作不正常。

(2) 通过软盘机(A盘)能进行正常的DOS引导，但当软盘机A转硬盘机C时，屏幕上会出现下列出错信息：

```
A>C
Invalid hard disk
A>
```

表示磁盘C的“00”道读出信息错。

(3) 出现上述故障现象后，可键入DTCFMT初始格式化指令，调用DTCFMT软件对硬盘C重新建立地址标记格式化，若能完成，则表示硬盘机的状态信号是正常的。再键入FDISK指令，建立DOS分区，若屏幕上出现“Error reading fixed disk”的错误信息，表明“00”道信息不正确，不是零磁道损坏，就是读出信号不对。

(4) 利用CDCINIT软件(大部分PC用户都有此软件)，对盘片进行扫描，若“00”道损伤，则屏幕上会有某个盘面“00”道的数据读出错误，若读出电路根本无数据输出，则所有盘面的每条磁道都出错。若是某个磁头损坏，则某一盘面的每条磁道都出错。利用CDCINIT软件诊断硬盘机的读/写功能十分直观有效，其步骤是键入CDCINIT并回车，屏幕上将出现下述信位息：

```
FIXED DISK FORMAT/VERIFY UTILITIES
Version 1.0 Copyright control Data Corporation 1984


Enter the Drive to test (i.e.1 or 2)
```

```
FIXED DISK FORMAT / VERIFY UTILITIES
Version 1.0 Copyright Control Data Corporation 1984

OPTION MENU
Drive 1

0   Format and Verivfy the Drive
1   Verify Drive (Surface Scan)
2   Install FLAW MAP (Mark Tracks Bad)
3   Reformat Test Cylinder (374)
4   Change Selected Drive
X   Exit Test

Enter Option: (1)
DRIVE SELECTED Max Cyl 374 Max Hd?
Number Of Hard Disks Attached: 1
CDC DISK CONTAINS NO FACTORY FLAW MAP
PLEASE CALL THE AUTHORIZED SERVICE CENTER FOR ASSISTANCE

THE NUMBER OF CYLINDERS IS INVALID FOR CDC DRIVES

FIXED DISK FORMAT / VERIFY UTILITIES
Version 1.0 Copyright Control Data Corporation 1984

OPTION MENU
Drive 1

0   Format and Verify the Drive
1   Verify Drive (Surface Scan)
2   Install FLAW MAP (Mark Tracks Bad)
3   Reformat Test Cylinder (347)
4   Change Selected Drive
x   Exit Test

VERIFYING CYLINDER: 3

Cylinder: 0  Head: 6  Verify Failed Sev/code 10B0
Cylinder: 0  Head: 7  Verify Failed Sev/code 10B0
Cylinder: 1  Head: 6  Verify Failed Sev/code 10B0
Cylinder: 1  Head: 7  Verify Failed Sev/code 10B0
Cylinder: 2  Head: 6  Verify Failed Sev/code 10B0
Cylinder: 2  Head: 7  Verify Failed Sev/code 10B0
Cylinder: 3  Head: 6  Verify Failed Sev/code 10B0

The above messages Will be erased when any key is pressed.
```

引起“00”道信号读出错误的可能性较多，可以归纳如下几种：

① 盘片的“00”道划伤；

② “00”道位置传感器的输出信号与步进电机的相序配合太临界，会引起“00”道位置的变化；

③ 读信号通道有故障，无读出信号输出；

④ 某一只磁头损坏；

⑤ 盘片划伤，“坏块”太多或读出信号通道的性能严重下降，读出信号不稳定。

⑥ “00”道上的信息在使用中因突然断电等偶然因素被破坏。

利用图12-1的诊断流程图，可充分发挥几个软件的作用，将引起“00”道信号读不出的故障原因找出来。

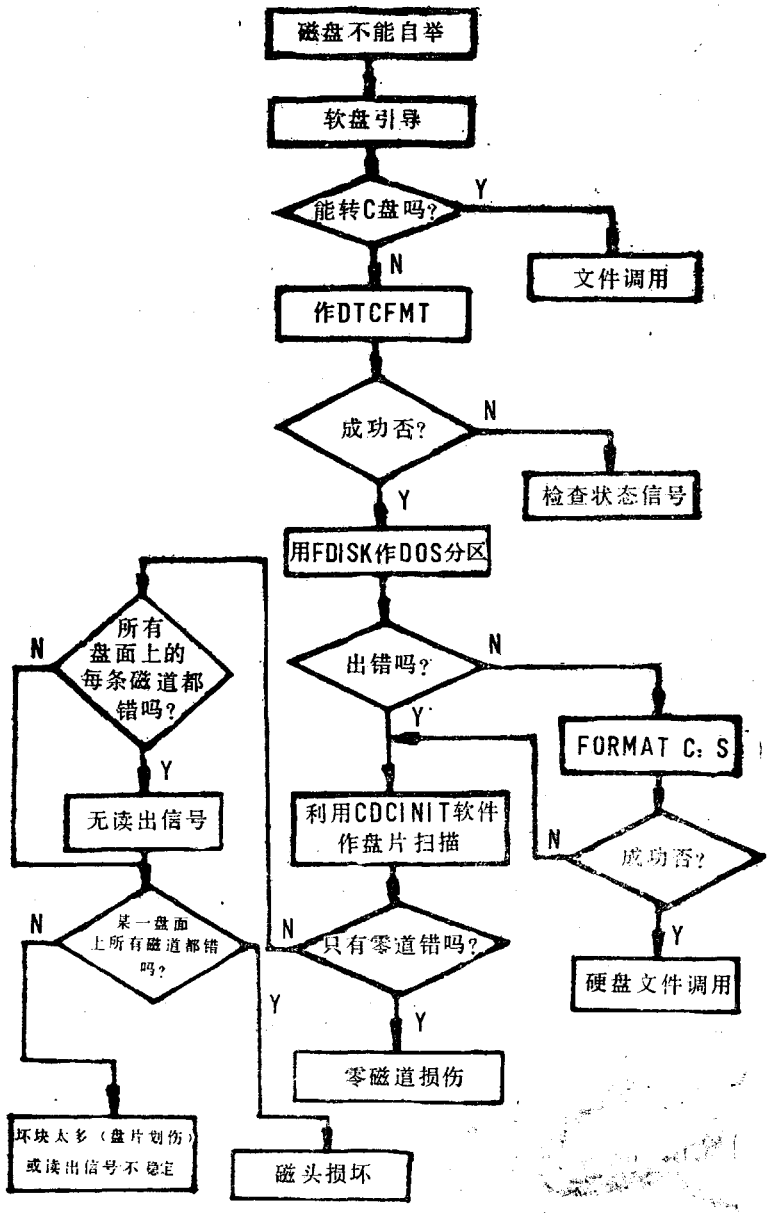


图12-1　硬盘机读错故障诊断流程图

4．磁头定位故障

引起磁头定位故障的可能性有四种，第一种是步进电机的驱动电路损坏，使控制步

进电机的正常相序关系遭到破坏；第二是接收来自控制器的步进脉冲及方向信号的逻辑电路损坏；第三是控制步进电机的运动的单片机损坏；第四是步进电机某相绕组断开

(1) 对于第一和第四种故障，都相当于步进电机缺相运行。在某种情况下，硬盘机仍能初始化成功，并给出“00”道信号，使硬盘机子系统引导成功，只是进行格式化或调用硬盘机的文件时会失败。为了与读信号故障区别开来，可对硬盘作初始格式化(调用DTCFMT软件)，在步进电机缺相运行时，对步进电机转轴外露的硬盘机(如ST412等)，立刻可看到步距不均匀，有剧烈的跳跃；对看不到步进电机转轴的硬盘机，可以听到步进电机不是有规律的一步步转动的“笃、笃”声，而是来回运动的噪音。

(2) 对于第二种故障，硬盘机能正常启动、自检，而且状态信号也都是正确的，但不能在硬盘控制器的控制下，作步进运动。接入系统后，虽然能作硬盘机引导，但调不到所需的文件，作DTCFMT初始格式化时，听不到步进电机走步的声音。

(3) 单片机出故障时，磁盘机不能初始化。送不出正确的状态信号，在系统中表现出的故障现象与检测不到信号类似。

5. 盘片划伤

硬盘机的盘片划伤是渐进的，最初的表现形式是有较多的读出数据错误，且愈使用，错误愈多。在这种情况下，应对硬盘机重新进行格式化，以剔除坏磁道。在作完DTCFMT初始格式化及建立DOS分区的FDSIK之后，利用Format C：/S作最终的逻辑扇区格式化处理。若盘片上的“坏块”很多，这一步格式化的时间会拖得很长，可以听到硬盘机磁头经常回到零磁道时，步进电机的走步声音，若“坏块”总数超过一定的数量，则最后屏幕上会出现这样的信息，其实这并不是真正的零磁道损坏，而是坏块太多所引起的。

Formatting Incomplete TrackO Failure

为进一步确诊坏块增多的原因，可利用CDCINIT软件进行至少两次以上的盘片扫描。重复出现的坏块若多于硬盘机生产厂家在磁道表中给出的数字，则可断言盘片已被划伤，需更换盘片。若“坏块”位置不固定，但总数也大大超过“坏块”表上的内容，很可能是磁头重复定位精度恶化或读数据通道工作不稳定，需送专门修理单位进一步确诊。

第三节　硬盘机的故障排除

硬盘机机的结构精密、电路复杂，尤其头盘组件(HDA)部分有故障时，要在具有100级洁净度的净化环境中才能打开。要对硬盘机进行维修，必须具备两个条件，一是维修人员要具备计算机硬件和软件方面的基本知识，尤其要熟练掌握硬盘机各部分的工作原理，有较丰富的维修经验；二是要有基本的测试设备及工作环境。由于我国磁盘机制造技术还比较落后，国内微型计算机中配套的硬盘机绝大多数是进口的，型号多而杂，加之外商极少能提供有关的技术资料，甚至对个别专用的集成电路或部件实行高价出售的原则，这给硬盘机的维修带来了很大的困难。尽管如此，维修人员只要加强基本功的训练，创造必要的条件，采用一些功能类似的国产器件，是可以将绝大部分有故障的硬盘

机修复好，使其在微型计算机系统中继续发挥作用的。

一、维修用设备、仪器和工具

1. 两种磁盘测试仪的介绍

对有故障的硬盘机需用具有通用接口的测试仪作脱机检查。测试仪通过命令电缆和数据电缆将有关的控制命令和数据传送到硬盘机，再测量它的各种工作状态和读出数据，以判断有关部分的工作是否正常。作脱机测试的硬盘测试仪应具备以下几个基本功能：

① 能作各种方式的找道控制；

② 能进行读/写控制；

③ 能作选头控制；

④ 能进行主要状态信号的显示。

能满足上述条件的仪器，国产的例如Y14—2型磁盘测试仪；国外的例如加拿大Lynx Techology Inc的Lynx500型磁记录设备测试仪。这两种磁盘机测试仪通用性强，结构简单，使用方便，价格也较低廉。下面简单介绍一下这两种硬盘测试仪的使用。

(1) Y14-2磁盘测试仪

Y14—2磁盘测试仪是由中国磁记录设备公司杭洲磁记录设备厂生产的，用于具备ST506/412接口的硬盘机和软盘机的脱机测试。内部的电路除读/写数据的接收与发送部分之外，几乎全部由74系列的TTL逻辑电路组成。通过板面上的开关与按钮的操

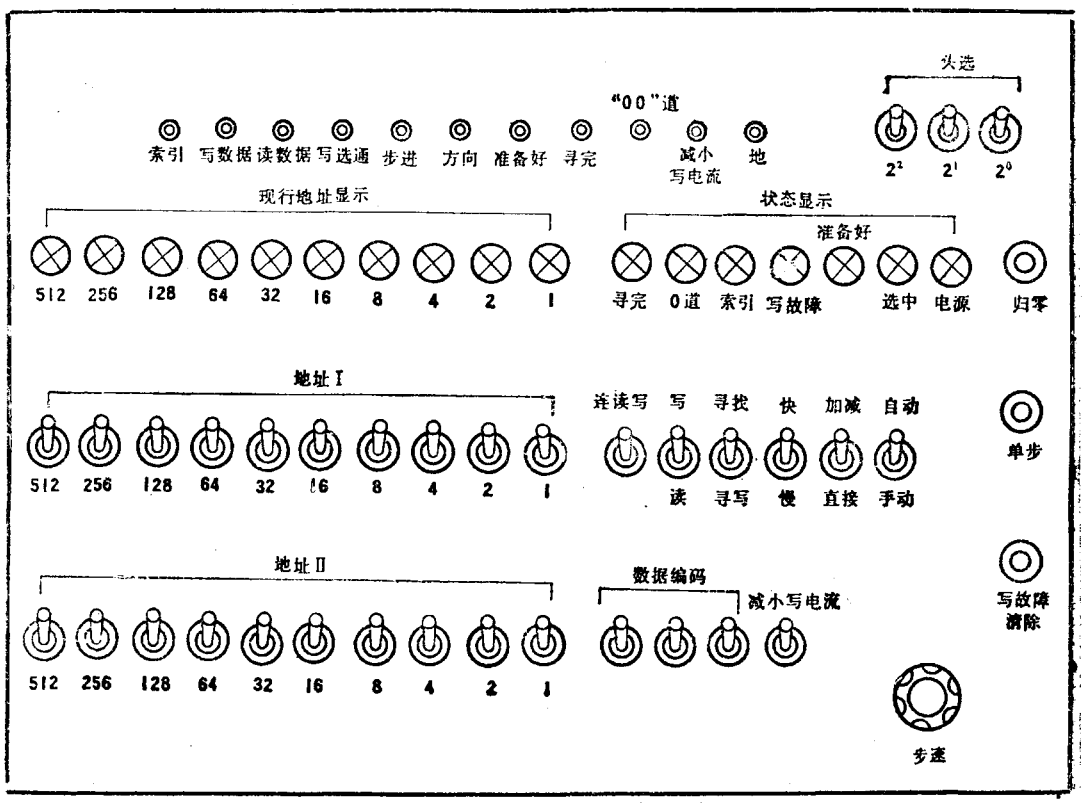


图12-2 Y14-2 磁盘机测试仪面板图

作，可完成对硬盘机和软盘机的找道、读/写、选头等基本功能的测试。图 12-2 是该测试仪的面板外形图。三只按钮分别作归零，单步找道和故障清除的控制。七只发光二极管分别作电源、磁盘机选中、硬盘机准备好，磁盘机故障、索引、“00”道及找道完成的显示。中间的一排标有“自动—手动”、“加减—两地址”、“快—慢”、“寻找—寻写”的四只开关都是用于控制找道方式的。另一只标有“读—写”的开关用作磁盘机的读/写控制。右下方的三只开关为数据编码开关，改变开关的位置可得到不同的写入数据编码。右下方的旋钮用于改变步进速率。左半边面板分两排配置的二十只钮子开关，分别代表磁头的目的磁道和现行磁道，每一位开关按 2^0(1)、2^1(2)、2^2 (4)…… 的顺序号排列，最大找道号为1023。右上方的三只开关为选头开关，最多可选八只磁头。最上方的一排测试钉，可测试磁盘机的索引、读数据、“00”道信号、寻找道完成以及测试仪输出的数据、写令、步进脉冲等。Y14-2磁盘测试仪的供电要求为直流 +5V 和 +12V 两种电源。

在对硬盘机测试之前，应按要求连接好电源，命令电缆和数据电缆。待硬盘机启动完毕后，根据面板上的状态指示灯可判断硬盘机的初始化状态是否正常。当要进行自动寻找测试时，“自动—手动”开关置于“自动”位置。通过目的磁道和现行磁道位置开关设置所要寻找的范围，硬盘机将来回反复寻找。当“加减—直接”开关置于“直接”位置时，磁头将根据步进脉冲的速率作两地址找道；当开关置于“加减”位置时，磁头将一步一步地前进到目的磁道，再一步一步退回到现行磁道。找道的速度可通过“快—慢”开关及“步进速率”旋钮调节。当需手动找道时，将“自动—手动”开关放在“手动”位置，并设置好目的磁道，每按一下“单步”按钮，将向磁盘发一个步进脉冲，使磁头步进一道。这种方式对测量单片机及步进电机驱动电路的输出非常有用处。

要对硬盘机进行读/写时，首先将磁头移动到固定的磁道，选择好磁头，设置好所要写入的数据；然后将“写—读”开关扳向“写”的位置，此时就可由测试钉上测出写数据脉冲，并将编好码的数据写入硬盘机中。将“写—读”开关扳向“读”的位置。（“寻找—寻写”开关应处于“寻写”位置），就可由“读数据”测试钉测出刚写进的数据。

详细的使用方法及产品技术指标请参照 Y14-2 磁盘测试仪技术说明和使用说明。

(2) Lynx500 型磁记录设备测试仪

Lynx500 型磁盘测试仪是一种以微处理器控制的便携式测试系统，它能对硬盘机、软盘机、数据流磁带机进行手动、自动、可编程的各种测试。其外形尺寸是长为 11.5英寸(29.2cm)、宽6英寸(15.24cm)、高3.25英寸(8.26cm)，重量约为 1.6 公斤。这种测试仪具有高密度的二极管液晶显示面板和32只键盘开关，并可外接打印机，其基本配置是带有硬盘的(ST506/412)控制器板和连接电缆。用户可根据需要，选用ST506/412、SMD、SA1000及QIC02 控制器板，用于对配有其他接口的磁盘机及磁带机的测试。由于采用了微处理器控制，能采用人机对话的方式，对各种磁记录设备的功能及性能指标进行测试。使用方便而又灵活，是一种较好的脱机测试仪器。

2. 其它仪器、设备及工具

维修硬盘机除需一台磁盘测试仪作各种脱机测试之外，还需准备以下的仪器、设备、工具及其它条件：

(1) 10000级的空调净化工作间(20平方米)，在工作间内，再配制一台100级净化工作台及其他附属测试设备等。

(2) PC系统一套，其中显示器、打印机、硬盘控制器板要一应俱全。

(3) 示波器，其性能指标应为：

① 频带不低于60MHz；

② 双通道；

③ 具有触发扫描功能；

④ 电压测量灵敏度不低于5mv，时间测量不小于20ns；

⑤ 具有X、Y输入的功能；

(4) 专用电源，其性能为：

+5V±5%，纹波不大于50mV，额定电流不小于5A。

+12V±5%，纹波不大于100mV，额定电流不小于4A。

(5) 抗静电工作台及三用表各一个。

维修硬盘机除需要常用的五金工具之外，还需备有25W内热式电烙铁和吸锡枪各一把，英制内六角螺丝起子一套，钟表螺丝起子一套。

二、检查硬盘机的一般步骤

具有二级维修水平的维修站，对于用户送修的硬盘机，可按下列顺序作脱机检查：

1. 通电前的准备工作

(1) 资料准备 用户送修的硬盘机有各种各样的型号，在结构与电路设计方面存在着较大的差异。对于第一次接触的型号，如无产品手册可参考，要查阅有关资料，弄清产品的基本特征．例如盘片数、磁头数、磁道数、记录密度、定位方式、找道时间、接口类型等。可供查阅的最详尽的资料是美国每年出版一次的《磁盘机趋势报告(DISK/TREND REPORT)》其中包含了世界各有名的磁盘机生产厂家的产品目录及简介。本书附录Ⅰ列出国外63家磁盘机厂商265种硬盘机的技术规范供读者查考。其次是一些与计算机有关的外刊(如《Mini-Micro System》、《EDN》等杂志)中也不定期的刊登有一些磁盘机的简介。

在弄清磁盘机的基本参数及特性之后，要准备好逻辑电路图。这对有现成资料的产品是不成问题的，但对无任何产品说明书的硬盘机，要获得完整的电路图，工作量十分大。此时可根据印制电路板上的元件配置，印制电路板的块数及采用的单片机数，经实际测绘构思出系统的工作原理方框图。如有的硬盘机采用多块印制电路板，分别充当读/写前置放大，主轴稳速和整机控制，此时就可通过各部份的连接关系，将有关的电路分离开来，以便查找故障时使用。如有的硬盘机主轴稳速系统中或采用一片单片机，或采用锁相集成电路，这样也就可将稳速部分独立出来。总之，各类硬盘机的电路虽然千变万化，但万变不离其宗，基本组成分是完全类似的。

(2) 掌握产品各部份的概貌 硬盘机主要分三个部份，即磁头定位部份，主轴稳速

部份及读/写部份。在无详细资料可供查阅的情况下，先对这三个部份作概貌性的测绘。对磁头定位系统，首先要弄清楚磁头驱动电机的种类，是步进电机还是音圈电机或力矩电机。如为步进电机，还要弄清楚是几相绕组？驱动电路是什么类型？如为音圈电机或力矩电机，则磁头定位系统必须是闭环式的，位置传感器是光栅式的还是伺服面伺服？音圈电机或力矩电机的驱动电路是哪种结构？对主轴稳速系统必须弄清主轴电机是几相的？有几只换向用的霍尔元件？产生索引脉冲的传感器是位于电机内部的光电传感器，还是位于电机外部的磁阻式传感器？主轴电机的驱动电路是位于主控电路板上还是另有一块单独的印制电路板？主轴电机的转速控制是采用单片机还是采用锁相电路？对读/写系统则必须弄清前置放大是在头盘组件的内部还是在外部？有否采用读/写专用电路？由磁头读出的信号在主电路板的什么器件上进行微分处理，以便作读功能测试时检测读出信号。

(3) 查阅个别元器件的内部功能框图及参数。

2. 通电作初始化的检查

硬盘机一般都具有通电自检测功能。在用磁盘测试仪测试之前，可先单独作通电检查。加电后可先仔细辨听主轴电机有否转起来，同时用示波器监测索引信号的输出(或霍尔元件的输出)。待转速达到额定值后，通过观察步进电机的运动或仔细辨听磁头的找道声音，来确定硬盘机的初检是否正常。若主轴电机不转或飞速，或者磁头无任何自检动作产生，则必须用下面介绍的方法作分系统的故障诊断。若硬盘机加电后的自检是正常的，则可与硬盘测试仪（如Y14-2）连接起来，再次启动，检查“准备好”、“00”道、“找道完成”，“写故障”等状态信号是否正常？以便进一步作功能性检测。

3. 用磁盘测试仪测试基本功能

利用命令电缆和数据电缆，将硬盘机与Y14-2磁盘测试仪连接起来，在初始化正常及各种状态信号正常的情况下，作以下几种测试：

(1) 首先检查索引信号的周期。对转速为3600转/分的硬盘机，周期应为16.67 ms。从示波器屏幕上应看出两只索引脉冲应十分稳定，且无其他窄脉冲混杂在中间。索引脉冲的高电平不得低于2.4V，低电平不得大于0.4V。

(2) 利用控制寻找的各种开关，首先由00道开始道差数不小于8的“来回慢速加减1找道”控制，仔细观察步进电机的步进动作应平稳无跳跃。在运动过程中，当道差为零时，“00”信号指示灯应发光。然后分别作由“00”道到最大道号间的任意道差的两地址快速找道或慢速找道，找道动作应干净利落。当道差为零时，磁头应回到“00”道，TRK“00”信号灯亮。

(3) 读/写功能的检查。利用测试仪发“寻找命令”使磁头移动到某一条固定圆柱磁道上，并选中某一只磁头，设置好写数据开关的位置，将“连续写-单次写”开关置在“连续写”位置后发写令，用示波器检查测试仪测试点上的写数据信号。写完后再执行读操作，用示波器在读数据测试点上，检查读出的信号是否是刚写进去的数据，并观察读出波形的稳定程度。然后再分别换磁头，在各个盘面的同一磁道上，写上不同的数据，检查读出的结果。若不论写进什么数据均可读出，则表明读/写功能正常。若某一磁头写不进数据，则写电路有故障，需进一步检查；若根本测不出读数据脉冲，则读电路有

故障，要对读信号通路逐点检查。

4．绘制部分逻辑电路图

利用测试仪只能确定子系统的故障范围，为将故障点具体落实到某个元器件，在无电路图可参照的情况下，要绘制出某一部份的电路原理图。对某些器件需查阅一些专用手册，确定其功能、内部框图及参数，使原理电路图更加实用；另一方面也为元器件的代用提供依据。

5．头盘组件(HDA)的检查

通过测试仪检查及用软件进行诊断后，如确认故障部位在头盘组件(HDA)内部，只有在这种万不得已的情况下，才需要在洁净度为100级的净化环境内，打开HDA的外壳。在此之前，操作人员要穿防静电工作服，戴工作帽和口罩，戴防护手套。待打开的HDA及使用的工具要在室外仔细清洗，不能将灰尘或杂物带进净化室内。如采用净化场地内外加100级净化工作台的洁净环境方案，则净化工作台至少要提前工作廿分钟，使其工作台面上的环境真正达到100级。HDA被打开后，如发现盘片划伤或磁头损坏而需更换，在拆卸过程中，要将上、下磁头设法撑开，不使其吸合在一起，否则因磁头浮动块表面十分光滑，吸合在一起后，很难分开。在装盘片的过程中，不要让尖利的物体碰到盘片，否则将会划伤盘面的磁层。对盘片表面，不可用酒精之类的溶剂清洗，只需用干净的空气吹拂一下，或用十分柔软的纸或绸布将盘面的灰尘轻轻拂去即可。盘片装好之后，磁头的浮动块要平着放到盘面上，注意不要让磁头浮动块的框架或浮动块的尖角划伤盘面磁层。当HDA内部的“00”道位置传感器已损坏而需更换时，或位置要重新调整，则要先将拆卸的方案设想好，然后再动手。在调整时，要根据在“00”道时步进电机正确的激磁状态，在示波器或万用表的监视之下进行。

HDA检修完毕后，首先使磁头移动到着陆区，然后拧紧外罩，保证其密封性良好。HDA每打开一次都会使盘片划伤的可能性增加一分。因此要尽可能少打开HDA，更不能在一般环境中随意打开，否则会严重损伤盘片、磁头。

三、硬盘机故障的查找方法

5.25英寸硬盘机若有故障，则采取更换电路板和头盘组件(HDA)的办法来排除。换下的电路板和头盘组件送专业工厂或维修技术水平高，备件齐全的维修中心作进一步修理。

对于硬件力量较弱的一般用户，应充分利用前面介绍过的软件手段，诊断自己系统中的硬盘机，先排除那些突然断电引起的格式化信息破坏，或不适当的振动冲击改变了“00”道位置等假故障（即重新作初始格式化后能正常工作），然后确认真正故障所在，以便对症下药。对具备维修能力的个别用户和维修中心，则必须充分利用磁盘测试仪、示波器、净化设备等手段，逐步缩小故障范围，直至最后排除故障。由于5.25英寸硬盘机的型号多，故障亦是各种各样，只能根据具体情况作具体分析。下面根据我们在维修实践中积累的经验，对一般的故障查找方法作些说明。

1．逐点查找法

硬盘加电启动正常，但最后输出的“00”道信号、找道完成、准备好、写故障、磁盘机选中、索引等状态信号不正常时，应从硬盘机输出接口电缆插头处开

始，依据信号的转换关系，对产生这些信号的电路上的每个元件进行逐点测量。根据测试的结果，分析引起故障的原因，更换损坏的器件。这种方法也可用于查找读/写电路方面的一些故障。逐点查找法的局限性在于，至少要求硬盘机加电初始化是正常的。否则，因硬盘机处于单片机死循环的故障处理状态，输出的初始状态不正常，而无法确定故障。

2. 流程图分析法

流程图分析法是根据硬盘机的工作原理，对故障现象进行分析，排除一些假象，逐步缩小范围的一种故障查找方法，下面通过具体的故障举例，对这种方法加以说明。

(1) 主轴稳速系统的故障查找

① 主轴电机不转　根据图12-3所示，主轴电机加电后不会转动有五种可能，即供电不正常，单片机未送出启动主轴电机的控制信号，驱动电路损坏，霍尔元件损坏，绕组不能换向。供电不正常的情况大多发生在+12V电源功率不足，在启动瞬间因电流较大而过载。有时也可能是插头接触不良。单片机若未送出启动主轴电机的控制信号，

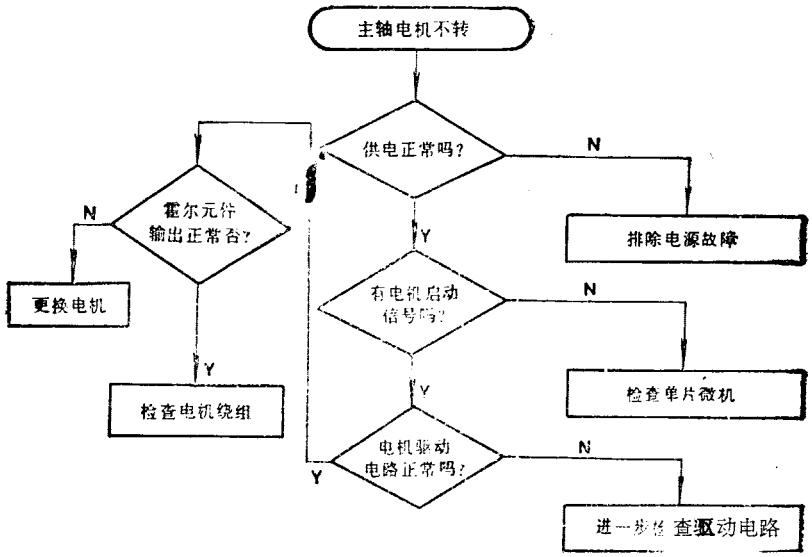


图12-3　主轴电机不转的故障诊断流程

应首先检查单片机的“总清(Reset)”信号是否正常。有时因存在供电和其他方面的故障，使单片机总处于“总清”状态，各I/O端口送不出正常的控制信号。如单片机的控制端口的TTL电平严重超差，在排除了外电路引起的可能性之后，应考虑到单片机已经损坏。在确认供电正常和有电机启动信号及电机驱动电路正常的情况下，判断霍尔元件是否损坏，可用手拨动主轴电机机，借助示波器观察霍尔元件的输出。有高低电平变化时，表示工作正常；否则表示霍尔元件损坏。霍尔元件损坏后，有备件时可将整只主轴电机予以调换。技术力量较强时，可将有故障的电机拆下后，取下外转子，更换霍尔元件。

②. 主轴电机转速不稳定　主轴电机的转速不稳定有三种情况，一种是超速，其次是转速低于额定值，第三是转速较有规律的忽快忽慢。超速的原因绝大部份是索引传感

器损坏后无输出信号或对索引信号作进一步处理的电路失效，使加于比较电路的索引脉冲消失，主轴电机转速稳定系统成为开环而失控。例如ST412、SA712等硬盘机，因索引传感器中含有信号处理电路，这一部分易损坏。又如ST225的索引脉冲是由转速信号作二分频处理后，送到单片机的。二分频电路损坏也会使索引脉冲消失。在SA712硬盘机中转速忽快忽慢现象，主要原因是在启动瞬间，+12V电源的电流较大，使+12V电源的电压突然降低，导致电源故障检测电路发出故障信号，使单片机“总清”，主轴电机停止供电。如+12V电源又恢复正常，则“总清”信号消失，电机再次被启动，转速忽快忽慢循环不已。遇到这种故障时，适当改变电源故障检测电路的参数，即可排除这种故障。转速达不到额定值，则可能是刹车电磁铁失灵，摩擦片压在主轴电机的外转子上，或索引脉冲中夹有外干扰窄脉冲或主轴电机缺相运行。查找故障的流程图见图12-4。

③ 主轴电机有死角　这种故障现象是电机转子处在某一位置加电时，电机不能启动，轻轻拨动一下，电机就能启动起来。电机的这种死角，往往是以转轴为中心，对称地成对出现。引起这种故障的原因是主轴电机内部换向用的霍尔元件中，有一只损坏或一相绕组的驱动电路失效。如某型硬盘机，主轴电机是四相的，有四只霍尔元件，电机有两个以转轴为中心对称的约为30°左右的死角。经示波器检查，四只霍尔元件输出正常，但电机绕组上的电压有较大的差异，最后查出是组合式达林顿驱动管损坏了一只，

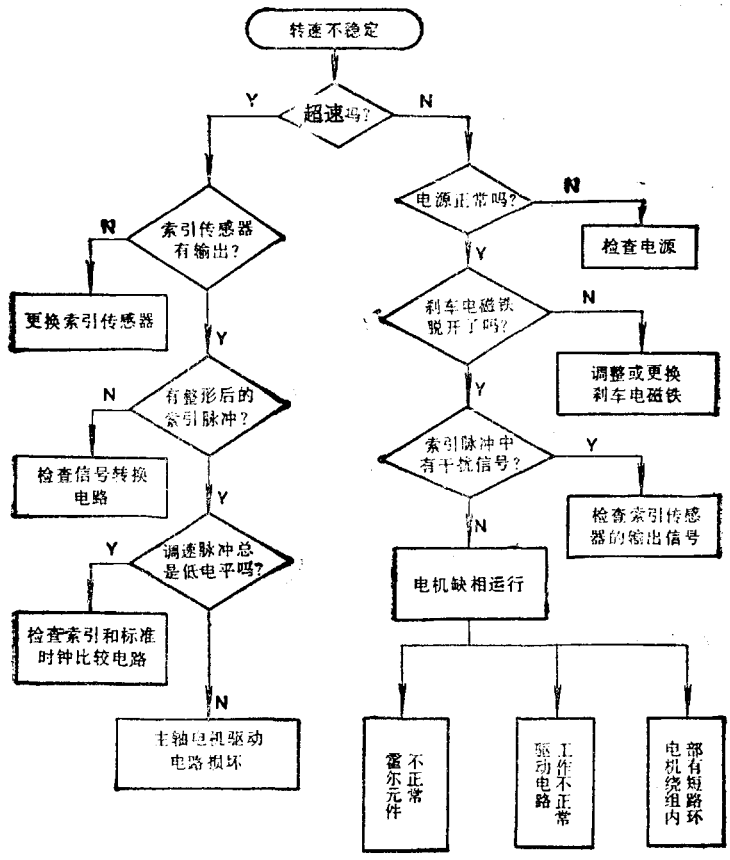


图12-4　硬盘机主轴转速故障检测流程

使主轴电机缺相运行。更换驱动电路后，转速正常。

④ 主轴电机运转时有很大的噪音　工作正常的电机运转十分平稳，噪音也很小。若在使用中发现有较严重的干摩擦噪音出现。应首先想到可能发生划盘故障，应立即停机。拆下主印制电路板，用手动方法使主轴电机轻轻转动，仔细辨听头盘组件内部有无传出干摩擦的“沙沙”声。若有，则表示盘片已划伤，要打开头盘组件，进一步确认。若听不到擦摩声，再次恢复印制板重新启动，待摩擦噪音出现时，轻轻抬起主轴电机接“地”簧片，若摩擦噪音消失，可将触点作小范围的前后左右移动，保证导电橡胶与主轴尖端作点接触，或稍擦一些硅脂之类的润滑剂。若接地簧片抬起后主轴电机高速旋转时摩擦噪音依然如故，则可初步判断不是主轴电机的轴承严重磨损，就是转子与定子之间配合不当，使在高速旋转时，因动平衡欠佳，造成转子与定子芯片相碰。这两种情况都必须对主轴电机加以修理。在维修中我们曾遇到过，在SA712及Miniscribe2012型硬盘机中转子与霍尔元件外壳在高速旋转时相摩擦的故障。

(2) 磁头定位系统的故障查找　磁头定位系统能正常工作的先决条件是单片机自检正常，转速达到额定数值且保持在规定的精度范围内。因此在查找磁头定位系统的故障前，要设法使主轴稳速系统的工作完全正常。

① 无初寻动作　在转速正常的情况下，当磁头无任何初寻动作时，应首先检查磁头锁定装置(有些硬盘机上无此机构)在加电后有否脱开，使磁头能自由移动，然后再检查单片机输出的“步进允许”或“伺服允许”信号是否正常。在排除了上述两种可能性之后，可仔细检查步进电机(或音圈电机)的驱动电路。检查的流程见图12-5。硬盘机的初寻动作一般都包括全行程范围内的两地址找道。在头盘组件外部能听到磁头来回运动的声音，还可直接观察步进电机的转动情况。如ST412硬盘机，因步进电机的转轴上固连有一只光电式“00”道传感器的遮光片，磁头的运动可一目了然。为判断单片机有无损坏，对这种硬盘机，在加电启动之前，可用手慢慢转动步进电机的转轴，使磁头离开

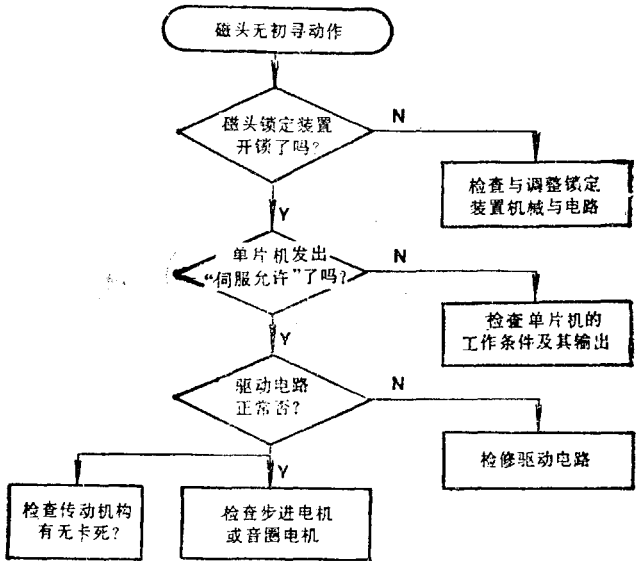


图12-5　硬盘机初寻故障诊断流程

“00”道位置。加电后，若步进电机保持在加电前的位置，则可肯定单片机出了毛病。事实已证明，ST412中单片机损坏的概率较高，且损坏后无法修复，所以用户在使用中要特别注意防静电击穿！！

② 初始化不正常　这种故障与“磁头无初寻动作”不同，是在转速达到额定值后，磁头有初寻动作，但最后不能停在“00”道，或反复撞击后极限位置的限位块；或一直移到前极限位置，撞击前极限位置的限位块；或磁头作了一些寻找动作后，主轴电机停转，硬盘机呈故障状态。产生这种故障的原因依硬盘机的类型不同而异，要根据具体情况，边测试边分析，才能找到真正的故障点。一般而言，初始化不能完成的可能性有以下几点：找不到零磁道信号；磁头位置信号消失；单片机本身或固化微程序的PROM(或EPROM)器件损坏。对于用“00”道传感器产生“00”道信号的硬盘机，如ST412、Miniscribe2012、SA712等只要检查“00”道传感器的输出及其处理电路，就能明确找不到“00”道的原因。相对而言，这类硬盘机的这种故障查找比较方便。对于另一类硬盘机，如HH612、HH725、ST225及所有靠伺服面定位的硬盘机，“00”道信号的产生要依靠预先刻写在盘面上的某种特定信息。若这种信息遭到破坏，或专用的伺服信息解码电路失效，都产生不了“00”道信号。由于盘面上产生“00”道的信息及专用解码电路的工作，靠一般测试手段是较难判别其好坏的，只能采取与无故障的同类产品作交换电路板和头盘组件的替代法，以判别是伺服盘片上的“00”道信息被破坏还是电路板出故障。如伺服盘上的“00”道信息被破坏只能送专业工厂修理。

在闭环控制的磁头定位系统中，磁头位置信息由光栅传感器或伺服面与伺服磁头提供。位置信息不正常时，初寻过程也是完不成的。例如有一台Q540型光栅定位的40MB硬盘机，加电后转速正常，磁头在收藏位置附近有小范围的来回移动，但不能回到零磁道位置。经反复测试与分析，发现无位置信号送到单片机，进一步查得是光栅传感器的光电池损坏，更换光电池后，功能又恢复正常。

当单片机的损坏或因固化微程序的EPROM失效时，也有可能引起初寻动作不正常。例如有一台Miniscbe2012型10MB硬盘，加电后磁头乱动，经检查是EPROM中的程序被破坏。在怀疑单片机或EPROM损坏时，测试端口信号通常很难得出正确的结论。较简单的办法是用替代法，在确保外电路工作正常的情况下，更换EPROM或单片机，即可很快验证单片机或EPROM的好坏。

③ 初始化寻找正常，但不能接收外输入步进脉冲，或磁头的运动方向不对。遇到这种故障时，可根据使用说明或原理图，设法找到单片机的自检控制入口。将该点接“地”(有些硬盘机中有专门的跨接线插座，插上短路跨接片即可)后，硬盘机将按一定的方式进行寻找自检测。若自检不出错，则表明磁头定位控制系统工作正常，应通过测试仪发“寻找”命令着重查找步进脉冲和方向信号接收电路的工作状态，以判断步进脉冲和方向信号有否正确地传送到单片机的端口。

④ 步进电机的步进动作有跳跃　发生这种故障有三种可能性。第一是单片机端口输出的驱动步进电机的并行控制信号不能正确翻转；第二是步进电机驱动电路损坏；第三是步进电机绕组断线。这三种情况都会使步进电机的相序控制不连续，因此步进动作发生跳跃。ST412和SA712等硬盘机的步进控制信号是由单片机的I/O端口作并行输出的，可利用测试仪发单脉冲，使步进电机作单步步进，借助示波器检测端口的状态变化

并与正常值比较，以判断单片机的工作情况是否正常。在HH612、HH725、ST225、Miniscribe2012 等硬盘机中，单片机输出的是一串与道差对应的串行脉冲，经专用的步进电机驱动电路转变成并行输出，此时应在单步运行的状态下检查驱动电路的输出状态。在维修工作中，曾多次发现HH612、Miniscribe2012步进电机驱动电路失效，使步进动作不连续而引起寻找失败。驱动电路损坏引起步进跳跃，在SI412 硬盘机中出现较多。因为这种硬盘机中采用组合三极管作步进电机的驱动电路。由于功耗较大，步进电机的反向感应电势较高．易使三极管失效。

⑤ “00”道位置不确定，或归零时对零磁道位置传感器有轻微的撞击。在联机运行时，如遇有这类故障，会经常读不到原来存放的文件或数据。重新格式化后，有时能正常工作一段时间，但不久又会出现老毛病。在用测试仪作两地址找道时，会出现“00”道信号丢失。产生这种故障的原因是“00”道位置传感器的安装位置与步进电机的初始激磁状态的配合关系太临界，容易使步进电机相对于“00”道位置差一个步进循环(一般为四条磁道)。此时应利用测试仪作手动单步寻找，调整“00”道传感器的安装位置，使其输出在磁头由“00”道向前移动两个磁道时(步进电机走两步)，发生状态翻转。这样就可保证“00”道的位置恒定不变。

⑥ 传动钢带断裂 发生这种故障时，硬盘机的初始化肯定是失败的。因磁头失控，找不到“00”道位置。如将头盘组件拿在手中轻轻摇晃，可听到磁头转臂与前后限位块相碰的撞击声。有时断裂的钢带会弹到盘片区，在主轴电机转动时，还能听到尖厉的划盘声音。对于这种故障，只能打开头盘组件，更换钢带与盘片，作彻底的大修理。

(3) 读/写系统的故障查找 读/写系统要能完成数据的写入和读出，必须由主轴稳速系统和磁头定位系统的正常工作作为保证。也就是说，硬盘机不仅能完成加电初始化，送出正确的状态信号，还应能使磁头移动到所要求的目的磁道。只有在这种情况下，才能根据外部的命令执行写、读操作。因此，对读/写系统的故障，只有在主轴稳速与磁头定位两子系统完好时，方可借助于测试仪及电子仪器，用一些较特殊的方法去进行查找与分析。

① 数据写不进 这种故障最大的特点是不管在那一条磁道上，都不能改写原先盘片上的数据。查找这种故障时，首先要确定是因为存在写故障条件而使写功能失效，还是写驱动电路的某一环节有毛病，然后再检查选头电路及前置电路的工作，最后检查磁头。查找的流程见图12-6。在检查选头电路时，应测出选中磁头的中心抽头电压在读与写时的差别以及与未选中磁头的差别，以便判断磁头是否被选中。若中心抽头电压不符合要求，写电流开关电路是不能正常工作的。在检查恒流源电路时，要判断产生恒流的三极管在写时是否处于导通状态？工作点对不对？检查有无写电流翻转？最简单的方法是测试写电流开关电路输出端的电压波形。正常时，将有如图12-7所示的电压波形。在采用了专用前置电路的硬盘机中，前置电路出了故障一般比较难检查，比较快速的方法是用替代法或断开与前置电路的连接．外接模拟电路，检查写电流驱动部分是否正常？用间接的方法判断前置电路的好坏。

② 有写故障 写故障产生的条件对不同型号的硬盘机是有较大差异的，因此在查找写故障时，必须了解每种硬盘机的特点。例如Q540型硬盘机，只有在写令有效而无写

电流的条件下才会产生写故障。但对 ST4L2型硬盘机，产生写故障的可能性比较多，它们是“多头选”、“有$\overline{WG}$而无写电流”、“寻找未成完时而$\overline{WG}$有效”等等。因此，要

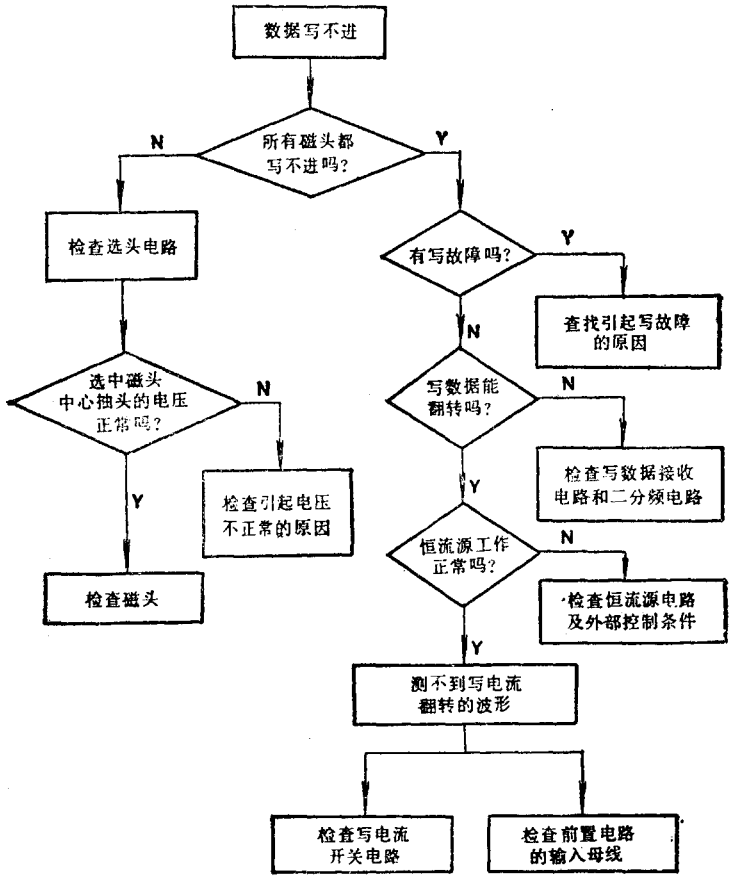


图12-6　写数据故障诊断流程

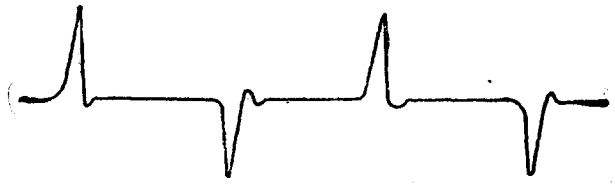


图12-7　写驱动电路输出电压波形

根据不同类型的产品作具体分析。当一台硬盘机存在写故障时，为判断是“多头选中”引起的，还是其他原因引起的？可以用测试仪，通过依次去选每一只磁头来判断。若写故障总存在，则多半是“有$\overline{WG}$而无写电流”或“电源故障”等引起的；若只是选中某一磁头时出现写故障，表明：除选中某一磁头外，还有其他原因使另一磁头也被选中，基本上可以认为是“多头选”引起的写故障。在维修ST412时，曾有多台产品，只在选中到某一磁头时，出现写故障，此时磁头中心抽头的电压都变为0V。为进一步找到引起写故障的真正原因，可切断加于选头控制电路7445的写故障信号，再测试各磁头中心

抽头的电压。结果发现除选中磁头的中心抽头电压为10V（正常值）外，还有一只磁头的中心抽头电压也变成了8V，显然是不正常的。更换7445的集成上拉电阻后，故障消失。

③ 数据读出错误　其原因基本上可归结为读数据处理与输出电路的故障；盘片划伤；磁头损坏；磁头定位不准等四大类。对于第一种原因，其现象是不管选中哪一只磁头，走到哪一条磁道，都测不出读出数据脉冲，或虽有输出但频率不稳定，有很大的位偏移量。如盘片划伤，则用测试仪．一般较难准确地测出划伤的程度，最好的方法还是利用PC机作盘面扫描，找出划伤磁道的位置，或打开头盘组件，用肉眼观察。如磁头损坏，现象十分明朗，即总是选中某一磁头时，读数据消失。磁头定位不准确引起的读出错，带有很大的随机性，表现得很不稳定。下面对读信号处理与输出电路的故障查找方法作一些说明。

磁头读出信号是十分微弱的，其峰-峰值一般不超过1mV，用示波器很难测出。因此判断读出信号有无，应在前置放大后的输出处或低通滤波器之后或微分电路之前的地方，进行检测。若在这些地方，对所有的磁头都测不到信号，则可以肯定前置放大器已经失效。若只是选中某一磁头时无输出，则表明磁头已损坏，或选头电路出了故障，该选的磁头未选中。若测不到最后输出的MFM制读数据脉冲，应检查输出电路和过零检

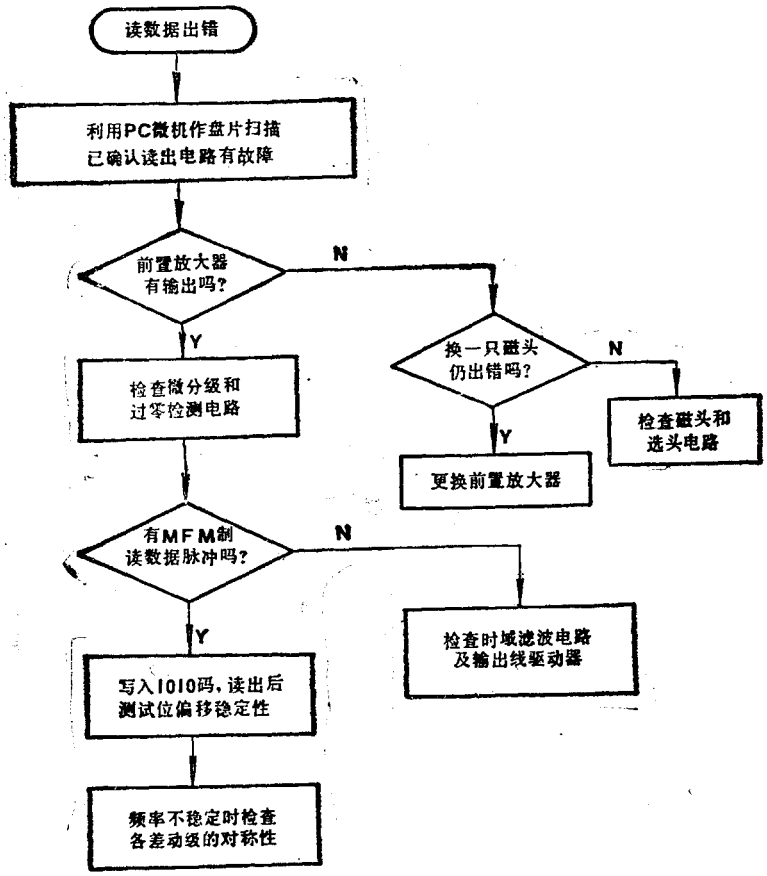


图12-8　读电路故障诊断流程

测电路。若输出脉冲频率不稳，位移量很大，则应检查前置放大器及微分电路的对称性以及时域滤波器的工作情况。图12-8是读出电路的检查流程图。

④ 数据既写不进，也读不出来。这种故障在使用专用读/写前置电路SSI115或SSI117的硬盘机中时有发生。根本的原因是这种专用读写电路的某选头通道或控制读/写的公共部分出了毛病。在此情况下，除了更换专用前置电路外，别无他法。在ST412硬盘机中，也用了Seagate公司自行设计的专用读/写前置放大电路。由于该电路的设计或制造工艺上存在一定的缺陷，失效率较高，几乎占送修产品的四分之一。

上述所介绍的硬盘机的故障查找方法，需通过具体实践才能逐步掌握。在查找故障与修理的过程中，要讲究科学，切忌未搞清原理，不作现象分析而乱动乱拆。尤其对头盘组件，更不能不顾周围环境的污染，随意打开，甚至象对维修盒式磁盘机那样，用溶剂随意擦洗盘片和磁头，极易造成盘片与磁头的损伤，导致故障愈来愈多。只有在掌握基本工作原理的基础上，不断实践，不断总结，不断积累经验与资料，维修技术水平才会达到新的高度，使大部分有了故障的硬盘机得以修复，继续在计算机系统中使用和发挥作用。

第四节　典型故障案例分析

前面已对5.25英寸硬盘机中各类故障的诊断和查找方法作了较详细的说明，本节将通过一些故障案例的分析进一步说明如何将这些方法应用于维修实践。

一、前置放大器损坏

ST412硬盘机的读/写前置电路是Seagate公司为该产品设计的专用集成电路。主要由二极管选头矩阵、读/写功能转换控制及读出信号前置放大三部份电路组成，各管脚的外接信号见图12-9。由于设计或制造上的原因，这种专用电路的故障率较高。其表现

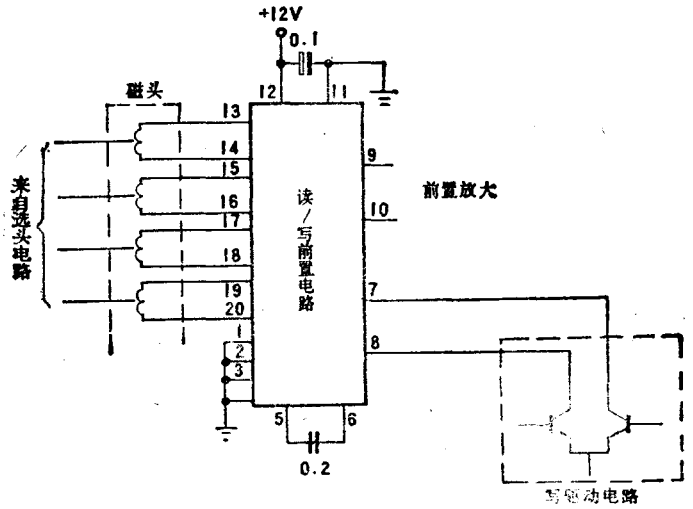


图12-9　ST412硬盘机读/写前置电路与外部的连接

形式是不能进行正常的读/写。根据前面介绍的诊断故障流程，先用 Y14-2磁盘测试仪作通电脱机测试。待加电初始化完成后，令磁头移动到某磁道，设置好待写的写数据，(一般可设置全"1"或全"0")。利用测试仪上的选头开关，选择"00"磁头。先发出"WG"，(写方式开关应扳向"连续写"位置)，然后再发"RG"，用示波器测试前置集成电路的 9 脚和10脚，如果写的是全"1"，则应有频率为 2.5MHz 清晰的正弦波读出信号。若无读出信号或读出信号模糊不清则表明数据未写进或读出信号前置放大器已经失常。按同样的步骤可对其余三只磁头的通路进行类似的检查。除了用示波器检测前置放大电路9脚和10脚的读出波形外，为了进一步确诊前置放大器的写入功能，还可在写入数据时，直接测试对应磁头线圈上的电压波形。测试的方法是选择"00"磁头，写入全"1"数据，测试前置电路的13和14脚，应有如图 12-10(a)的电压波形。对应于其余三只磁头，要分别测试15和16脚，17和18脚，19和20脚的电压波形。上述 8 只脚上的电压波形不管哪一只脚上如有如图 12-10(b)、(c)、(d) 所示的波形，则可肯定选头矩阵二极管已损坏，必须用新的前置电路代替。

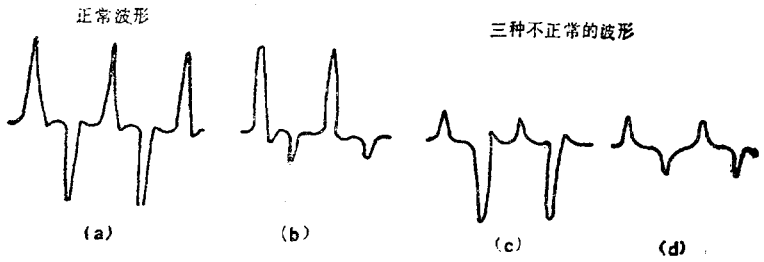


图12-10　写数据时读/写前置电路的波形

二、写故障的实例分析

ST412 的选头电路部份采用了 7445 二-十进制译码电路，将硬盘控制器来的二进制选头信号转换成十进制的选头信号，经集成电阻（位号为 1H）控制四只选头三极管(位号为1J)MPQ2907(如图12-11)。根据电路分析，正常工作时，四只三极管（由上至下为

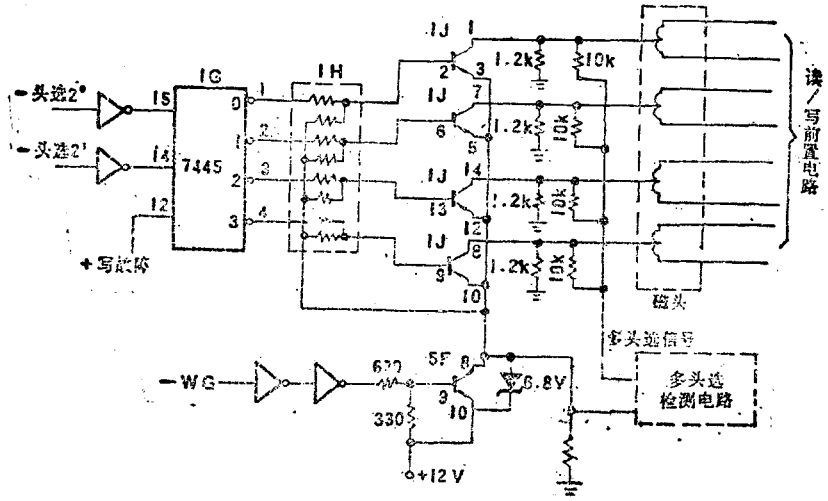


图12-11　ST412多头选故障检测电路

Q_1、Q_2、Q_3、Q_4、）中只有一只导通，使一只磁头能接入到写电流驱动通道或读信号前置放大器。当有两只或两只以上的三极管同时导通时，则会产生多头选中的写故障。该故障信号加到7445的12脚(清零端)使其输出都为开路电平，四只三极管全部截止。为判明引起多头选中的故障是7445失效还是集成上拉电阻出毛病，要将二一十进制转换电路7445的第12脚上"写故障"信号切断并接"地"，再利用测试仪作写测试。当选中某只磁头而出现写故障时，测试7445的输出及对应三极管的工作状态，就可找到故障点。

例如有一台硬盘机，在选中"10"头作写测试时，出现写故障。用示波器测试7445的输出，只有3脚为低电平，其余都为高电平。这表明7445工作正常，但选头三极管的状态除Q_3集电极电位为正常的+10V之外，Q_4导通，集电极电位约为+8V，测得Q_4的基极有大约+6V左右的电位这显然是不正常的，且可判断是集成电阻有毛病。当用外接620Ω和3kΩ的电阻代替R_7和R_8时，故障消除，硬盘机即能进行正常的读/写。

又如一台硬盘机除选中"01"头正常外，选中其他磁头就出现写故障。采用上述方法检查，发现7445集成电路的2脚的开路高电平降为+6V左右，而其他各脚的电平正常，因此可以判断7445失效。更换该电路后，写功能恢复正常。

三、找道故障实例分析

如有一台SA712硬盘机初始化完全正常，但因不能进行正常找道而联机失败。利用Y14-2测试仪发寻找命令，硬盘机无寻找动作。将印制电路板上E_2点对"地"短接，硬盘机进行自检寻找，表明单片机6500/1的输出端口和步进机电机驱动电路是正常的。去掉E_2点自检短接线，由Y14-2发出"连续找道"命令，用示波器测量接口专用集成电路U_2的17脚步进脉冲的波形，表明接口电路工作正常。由于接口电路输出的步进脉冲是作为二进制计数器74116(U_4)的计数脉冲，利用示波器测量计数器的输出，发现不会发生翻转，进一步检查是因为计数器的清零功能失常，更换U_4(74116)后寻找功能正常。

如果专用接口电路U_2损坏，将无步进脉冲输出，此时由于这种用接口电路在国内无备件，Shugart公司也已停产，只能由磁盘专业工厂的维修部门组合部分线路代替。

四、初始化失败实例

有一台ST412型硬盘机加电启动后，转速达到额定值时，步进电机乱跳跃，磁头不能定位于"00"磁道，使初始化失败。根据现象分析，产生这种故障的原因，有三种可能。一是单片机6500/1的输出端口出毛病，送不出正确的步进控制信号；二是单片机输出端口到驱动三极管之间的门电路失效；三是驱动三极管被烧坏或击穿。经示波器测试，单片机6500/1控制步进电机的八个端口信号PC_7～PC_0（即13脚到20脚）的电平状态依次为"高、低、高、低、高、低、高、低"，是正常的。进一步检查各有关"门"电路的输出也是正常的，因此排除了前两种可能性。最后检查组合驱动三极管的输出，发现位号为B6的组合三极管MPQ3725的1.3脚已短路，使步进电机的A相激磁电路失控。拆除损坏的MPQ3725，用四只3DG8C三极管代替后，找道功能恢复正常。

五、主轴电机启动死角的分析和排除

5.25英寸硬盘机中主轴电机在启动时产生"死角"是常有的故障。引起死角的原因

往往是因电机内部的霍尔元件失效或驱动功率管损坏。发生这种故障时，只要电机冲过死角转起来，是能达到额定转速的并且可自动稳速。所以一般的检查步骤是先测试电机转动时，霍尔元件的输出是否正常，然后再检查驱动功率管的工作状态及主轴电机绕组上的电压波形。下面以一台主轴电机有死角的ST412为例加以说明。ST412 硬盘机采用了一块单独的电机控制板。主轴电机为两相霍尔直流电机，由两只达林顿功率管 TIP112 驱动。加电后依靠人工加力启动的方法使主轴电机冲过死角而旋转起来，利用示波器观察霍尔元件的输出波形完全符合要求，两只达林顿管的工作点无明显差别。但电机两个绕组上的电压波形有明显的差别，尤其一个绕组上反电势部分的电压偏低。根据波形分析，当驱动管截止时，绕组内会产生反电势电压，反电势较小时，表明驱动功率管导通时，流过该绕组的电流较小。由此可断定一只达林顿驱动管的性能已经下降，给不出足够的启动电流，换用一只新的达林顿管后，死角立即消失。

六、主轴电机转速不稳

转速不稳也是5.25英寸硬盘机中常遇到的一种故障。例如，曾有一台 SA712硬盘机，加电启动后，转速忽快忽慢．检查驱动电路和霍尔元件的输出都正常。进一步测试分析，发现单片机6500/1有周期性的“总清”信号，每当“总清”信号有效时，“主轴电机允许启动”信号消失，电机趋向停转。一旦“总清”信号消失，“电机允许启动”信号又有效，如此循环不已，造成电机运转忽快忽慢。而“总清”信号的产生与电源的故障检测电路有关。当电机刚开始启动时，因启动电流大，在限流电阻上产生较大的压降，引起电源故障检测电路工作而产生单片机总清信号。经检查是限流电阻长期工作后阻值变大引起的．更换限流电阻后，转速正常．

附录一　国外小型、微型磁盘机技术规范表

一、硬盘机

为让读者能正确理解技术规范表中各栏的内容，对有关栏目，按自左至右的顺序，逐一解释。

(1) 容量档次　按可换盒式硬盘机、可换盘组硬盘机、固定温式硬盘机等三类共分九档：

①可换盒式硬盘机	小于12MB
②可换盒式硬盘机	大于12MB
③可换盘组硬盘机	小于100MB
④可换盘组硬盘机	大于100MB
⑤固定温式硬盘机	小于30MB
⑥固定温式硬盘机	30～100MB
⑦固定温式硬盘机	100～300MB
⑧固定温式硬盘机	300～500MB

⑨固定温式硬盘机　　大于500MB

(2) 市场类型　是指产品按销售对象分类，可分三类：

①自配(Captive)　由计算机制造厂分厂或系统OEM厂商生产并内售或内租给它们自己的计算机系统使用的硬盘机。

自配硬盘机的售价与OEM产品相比，要高得多。例如，仅82年全世界硬盘机的年总收入中，IBM公司和其它自配硬盘机厂商的自配产品年总收入占74.8%，约55.3亿美元。但如果把这些自配产品均作为OEM产品出售，其年总收入只为55.3亿美元的20～25%。

②PCM　指由接插兼容厂商(PCM)直接出售或出租给最终用户的硬盘机。

③OEM　通过除PCM外的非自配销售渠道出售的硬盘机。

(3) 盘片类型　凡注“固”指温彻斯特磁盘机；注“盒”指可换盒式温式磁盘机。

(4) 盘片介质　“镀”指用电镀或化学镀工艺制成的镀膜介质；“涂”指铁氧体涂布型介质；“溅”指用溅射工艺制成的介质。

(5) 硬盘机技术类型　所列型号大多是IBM公司的型号。因为对IBM公司的产品技术规范已有十分广泛的解释，故用它可表征磁头和盘片的技术特征。凡型号后缀以“改”字，例如3350改，表示IBM-3350的改进型。

(6) 磁头　“铁”指铁氧体磁头；“薄”指薄膜磁头。

(7) 接口　所列的接口，有的是已被公认的工业标准接口，例如ST-506/412；有的是制造厂专用的接口，尤其是自配产品更是如此。

(8) 容量　凡未注“F”，均表示非格式化的容量；“F”表示格式化容量。

(9)定位机构类型

VC，L——音圈电机直线式Voice Coil，Linear

VC，R——音圈电机转臂式Voice Coil，Rotary

SM，B——步进电机钢带式　Stepping Motor，Band

SM，RB——步进电机钢带转臂式Stepping Motor，Rotary Band

TM，B——转矩电机钢带式Toque Motor，Band

TM，R——转矩电机转臂式Toque Hotor，Rotary

SM，RP——步进电机齿轮齿条式Stepping Motor，Rack and pinion

DCM，L——直流电机直线式DC Motor，Linear

(10) 其它　同一厂商的硬盘机，如其总容量只与盘片数有关的几种产品，将它们列在同一“产品型号”栏内(或表以×××系列)。其各自的总容量和每轴数据面数分别在各自栏目内表示，并以“；”相隔。

有18个产品，不是每个栏目都填有内容。附表共列出六十三家制造厂商的一百六十五种小型、微型温盘机的技术规范。

制造厂商	产品型号	容量	市场	盘片			驱动器			总容量（MB）	
		档次	类型	类型	直径（英寸）	介质	技术类型	磁头	接口	固定盘	可换
ALPS	DRA010A	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	12.75	——
	DRA020A	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	25.5	——
	DRL010A	5	OEM	固	3.5	镀	3370	铁	ST-412	12.75	——
	DRM020A	5	OEM	固	3.5	镀	3370	铁	ST-412	25.5	——
AMPEX	PYXIS13; 27	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST412	13.33; 26.67	——
APPLIED INFORMATION MEMORIES	DART130	7	OEM	固	5.25	溅	特殊	铁	ANSI	133.57	——
	LANCE850	7	OEM	固	5.25	溅	特殊	铁	SMD/SCSI	213.7	——
AST	AST28060; 28100	6; 7	OEM	固	5.25	溅	3370	薄	ST-412	60; 100	——
	AST38095; 38158	6; 7	OEM	固	5.25	溅	3370	薄	ESDI	95; 158	——
ATASI	3046	6	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	46.3	——
	3051	6	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	51.3	——
	3085	6	OEM	固	5.25	涂	3370	铁	ST-412	85.3	——
ATHENAEUM	AEGIS10/10	2	OEM	盒式	5.25	涂	3350改	铁	ST-506改	12.75	12.75
	AEGIS30	6	OEM	固定	5.25	涂	3350改	铁	ST-506	38.25	——
BASF	6182--6183	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-506	6.38; 9.57	——
	6185	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-506	27.5	——
	6188	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-506	15.0	——
	6188R-12; 6188R-25	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	12.7; 25.4	——
	6190-52; 73; 94	6	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	52; 73; 94;	——
CARDIFF THCHNOLOGY	D-120; 240	2	OEM	盒式	5.25	镀	3350改	铁	ST-506改	0; F15.7	F:15.7
	F240; 360	6	OEM	固	5.25	镀	3350改	铁	ST-506	F:31.5; F47.2	——

容量/性能												第一台交货时间	备注
每轴数据面数	每面磁头数	每面磁道数	每道容量(字节)	位密度 BPI	道密度 TPI	转速 转/分	定位机构类型	平均找道时间(ms)	平均旋转延迟(ms)	平均访问时间(ms)	传输率 KB/S		
4	1	306	10416	8944	360	3600	SM, RB	80	8.3	88.3	625	85.6	
4	1	612	10416	8944	720	3600	SM, RB	80	8.3	88.3	625	85.8	半高
4	1	306	10416	10913	640	3600	SM, RB	80	8.3	88.3	625	85.4	
4	1	612	10416	12358	875	3600	SM, RB	80	8.3	88.3	625	85.4	
4; 8	1	320	10417	8720	360	3600	SM, R	90	8.3	98.3	625	82.5	
7	1	916	20832	19220	1000	3600	VC, L	30	8.3	38.3	1209	81.9	
7	1	916	33331	30752	1000	3600	VC, L	30	8.3	38.3	1209	81.9	
3; 5	1	1920	10416	11335	1600	3600	VC, L	30	8.3	38.3	625	85.11	半高
3; 5	1	1500	21000	21300	1330	3600	VC, L	30	8.3	38.3	1250	85.11	半高;2.7码
7	1	635	10416	8701	790	3600	VC, L	33	8.3	41.3	625	85.1	
7	1	704	10416	9053	800	3600	VC, L	33	8.3	41.3	625	85.三	
8	1	1024	10416	9716	1029	3600	VC, L	29	8.3	37.3	625	85.四	
固2; 可换2	1	612	10420	9074	690	3600	VC, L	33	8.3	41.3	625	82.11	伺服面另加固定盘
6	1	612	10420	9074	690	3600	VC, L	35	8.3	43 3	625	83.12	
4; 6	1	153	10416	7690	254	3600	SM, B	76	8.3	84.3	625	82.1	
6	1	440	10416	8853	508	3600	SM, B	142	8.3	150.3	625	83	
4	1	360	10416	8853	406	3600	SM, B	93	8.3	101.3	625	83	半高
2; 4	1	612	10416	9800	585	3600	SM, B	93	8.3	101.3	625	85.四	
5; 7; 9	1	1000	10416	10000	1000	3600	VC, R	30	8 3	38.3	625	85.三	
2; 4	1	960	F:8192	10500	965	3460	VC, L	25	8.8	33.8	625	84.6	嵌入伺服
4; 6	1	960	F:8192	10500	965	3460	VC, L	25	8.8	33.8	625	84.9	

制造厂商	产品型号	容量	市场	盘片			驱动器			总容量(MB)	
		挡次	类型	类型	直径(英寸)	介质	技术类型	磁头	接口	固定盘	可换
CII HONEY-WELL BULL	D520	2	OEM	盒式	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412DMA	F:10.485	F:10.485
	D505; D510	5	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-506	6.38; 12.76	——
	D520; D550; D570	6	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	30; 51; 72	——
	D585	6	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	85.0	——
CMI	CM6213; 6426; 6640; 6853	5; 6	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	13.34 26.68; 40; 53.3	——
	CM5206; 5412; 5619	5	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	6.38; 12.76; 19.14	——
	CM7885	6	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	85.3	——
COGITO SYSTEMS	CG906; 912	5	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	6.38; 12.76	——
CDC	Wren-Ⅰ系列	5; 6	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	25; 36;	——
	Wren-Ⅱ系列	6	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ESDI	48; 67; 86	——
	Wren-Ⅲ系列	6	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ESDI	101; 141; 182	——
	9279-6CricRet	5	OEM	固	3.5	镀	3350 改	薄	ST412	6.38	——
DATA-POINT	9301; 9302; 9303;	5	自配	固	5.25	镀	3350 改	铁	本公司	F:20.24	——
DISC	5014; 5019; 5026	5	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	12 75; 19.13; 25.5	——
EPSON	HD-830; HD-860	5	OEM	固	5.25	镀	3370	铁	ST-412	12.8; 25.6	——
富士道	M2220A; 2223A; 2224A	5	OEM	固	3.5	涂	3350 改	铁	ST-412	6.37; 12.74; 19.12	——
	M2230AS/B; 2233; 2234	5	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	AS:ST412 B:SA4000	6.66; 13.3; 20.0	——
	M2241AS; 2242; 2243	6	自配 OEM	固	5 25	涂	3350 改	铁	ST-412 SA4000	31.4; 54.9; 86.3	——
	M2244E; 2245; 2246	6, 7	自配 OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ESDI	85.8; 120.0; 171.7	——

技术规范表(国外)

容量/性能												第一台交货时间	备注
每轴数据面数	每面磁头数	每面磁道数	每道容量(字节)	位密度 BPI	道密度 TPI	转速 转/分	定位机构类型	平均找道时间(ms)	平均旋转延迟(ms)	平均访问时间(ms)	传输率 KB/S		
4	1	640	F:8192	9200	860	3400	VC, R	40	8.8	48.8	625	83.9	嵌入伺服
4	1	306	10416	9074	345	3600	SM, B	170	8.3	178.3	25	82; 83	
3; 5; 7	1	987	10416	9920	960	3600	VC, R	30	8.3	38.3	625	83.四	
7	1	1166	10416	10526	1047	3600	VC, R	30	8 3	38.3	625	85.1	
2; 4; 6; 8	1	640	10416	9275	720	3573	TMR	40	8.3	48.3	625	82.四; 83.二 85.二	
2; 4; 6	1	306	10416	8650	345	3600	TM, R	130	8.3	138.3	625	83.9	
8	1	1024	10416	9275	1173	3573	TM, R	30	8 3	48.3	625	85.三	
2; 4	1	306	10416	8783	345	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	83.6	半高
3; 5	1	697	10080	9000	800	3600	VC, R	30	8.3	38.3	625	83	
5; 7; 9	1	925	10416	9274	960	3600	VC, R	30	8.3	38.3	625	84	
5; 7; 9	1	969	10416	19058	960	3600	VC, R	30	8.3	38.3	625	85	
2	1	306	10416	15390	400	3560	SM, B	117	8.4	125.4	625	83.三	
6	1	549	F:6144	8000	500	5520	VC, L	75	5.4	80.4	725	81.	
4; 6; 8	1	306	10416	8944	383	3600	SM, RB	90	8.3	98.3	625	84.三	
2; 4	1	612	10416	9700	600	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	85.8	半高
2; 4; 6	1	306	10416	12500	450	3600	SM, B	88	8.3	96.3	625	85.0	半高
2; 4; 6	1	320	10416	10200	300	3600	SM, R	83	8.3	91.3	625	83.4	
4; 7; 11	1	754	10416	10200	760	3600	VC, R	35	8.3	43.3	625	84.5	
5; 7; 10	1	823	20864	20400	850	3600	VC, R	30	8.3	38.3	1250	85.3	2.7RLL码

制造厂商	产品型号	容量挡次	市场类型	盘片			驱动器			总容量(MB)	
				类型	直径(英寸)	介质	技术类型	磁头	接口	固定型	可换
HP	7941A; 7945A	5	自配	固	5.25	镀	3370	铁	HPIB	F:23.789; 55.508	——
	97501A	5	自配 OEM	固	3.5	溅	3370	铁	HP	F:10	——
日立	DK301-1; 2	5	OEM	固	3.5	涂	3350 改	铁	ST-412	12.7; 19.1	——
	DK502-1; 2; 3	5	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	13.3; 20.0; 26.6	——
	DK511-3; 5; 8	6	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412 SCSI	36.4; 51; 85.7	——
	DK512-8; 12; 17	6, 7	OEM	固	5.25	涂	3370	铁	ESDI	85.7; 120.0; 171.4	——
IBM	5160; 5161	5	自配	固	5.25	涂	3350 改	铁	IBM	F:10.6; 10.6	——
	5170; 5364	5; 6	自配	固	5 25	涂	3350 改	铁	IBM ST-412	F:21.4;41.92	——
JOSPHINE	JCT-105; 110	5	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	7.0; 14.0	——
LAPINE	3512 Ranger	5	OEM	固	3.5	溅	3350 改	铁	ST-412	12.75	——
MATSUSHITA	JU-614; 615; 616	5	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	13.3; 20; 26.6	——
MAXTOR	XT-1085; 1105; 1140	6; 7	OEM	固	5.25	镀	3370	铁	ST-412	85.32; 105.27; 143.55	——
	XT-2085; 2140; 2190	6; 7	OEM	固	5.25	镀	3370	铁	ST-412	89.24; 140.20; 191.24	——
	EXT-4175; 4280; 4380	7; 8	OEM	固	5.25	镀	3370	铁	ESDI	178.48 208.48; 382.48	——
MICRO STORAGE	MS212	2	OEM	盒式	5.25	溅	3370	铁	ST-412	——	12.9
MICRO-COMPUTER MEMORIES	M-112	5	OEM	固定	3.5	涂/镀	3350 改	铁	ST-412	12.75	——
	M-125	5	OEM	固定	3.5	涂/镀	3370	铁	ST-412	25.5	——

Retro Workshop
果粉工作室

技术规范表(国外)

容量/性能													第一台交货时间	备注
每轴数据面数	每面磁道数	每面磁道数	每道容量(字节)	位密度 BPI	道密度 TPI	转速 转/分	定位机构类型	平均找道时间(ms)	平均旋转延迟(ms)	平均访问时间(mS)	传输率 KB/S			
3; 7	1	968	F:8192	9897	960	3600	VC, R	30	8.3	38.3	625		84.6	由priam公司制造
2	1	698	F:7168	12000	1100	3600	SM, RB	75	10	85	500		85.3	2/3高,嵌入伺服
4; 6	1	306	10416	12600	485	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625		85.6	半高
4; 6; 8	1	320	10416	9260	360	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625		83.10	由TOKICO公司制造
5; 7; 10	1	699	10416	9340	784	3600	VC, R	30	8.3	38.3	625		84.一	
5; 7; 10	1	823	20944	18500	925	3600	VC, R	23	8.6	31.6	1209		85.3	RLL码
4; 4	1	306	F:8704	9150	350	3600	SM, RB	75	8.3	83.3	625		84.7	
4; 7	1	614/734	F:8704	9398	815	3600	VC, R	40	8.3	48.3	625		85.4	
2, 4	1	306	11504	7690	270	3600	SM, B	150	8.3	158.3	625		84.9	半高
4	1	306	10416	11200	600	3600	SM, RB	66	8.3	74.3	625		85.2	
4; 6; 8	1	320	10416	9100	360	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625		84.一	
7; 11; 15	1	918	10416	9280	1000	3600	VC, R	28	8.3	36.3	625		83.二	
7; 11; 15	1	1224	10416	11155	1022	3600	VC, R	30	8.3	38.3	625		84.三	
7; 11; 15	1	1224	20832	22310	1022	3600	VC, R	29	8.3	37.3	1250		84.四	
2	1	620	10416	10900	556	3524	SM, B	95	8.51	103.51	625		85.6	嵌入伺服
4	1	306	10416	10943	588	3600	SM, RP	75	8.3	83.3	625		84.5	
8	1	306	10416	10943	588	3600	SM, RP	75	8.3	83.3	625		85.1	

制造厂商	产品型号	容量挡次	市场类型	盘片			驱动器			总容量(MB)	
				类型	直径(英寸)	介质	技术类型	磁头	接口	固定盘	可换
MICROPOLIS	1320系列	5; 6	OEM	固定	5.25	涂	3370	铁	ST-412	42.7～85.3	--
	1350系列	6; 7	OEM	固	5.25	镀	3370	铁	ESDI	85.3～149.3	--
	1370系列	6; 7	OEM	固	5.25	镀	3370	铁	SCSi	F:77.0～154.0	--
MICRO-SCIENCE	HH612; 725	5	OEM	固	5.25	镀	3350改	铁	ST-412	12.76; 25.52	--
	HH312; 325	5	OEM	固	3.5	溅	3370	铁	ST-412	12.76; 25.52	--
MILTOPE	RDS-12	5	OEM	特殊	5.25	镀	3350改	铁	ST-412 SCSI	--	21
	RDS-86	6	OEM	特殊	5.25	铁	3370	铁	ST-412 SCSI	--	85.9
MINISCRIBE	3212; 3425	5	OEM	固	5.25	高密涂	3350改	铁	ST-412	12.8; 25.5	--
	6032; 6053; 6085	6	OEM	固	3.25	高密涂	3370改	铁	ST-412	32.0; 51 3; 85.3	--
	8425	5	OEM	固	3.5	镀/溅	3370	铁	ST-412	25.6	--
MITSUBISHI ELECTRIC	MR321; 322	5	OEM	固	3.5	镀	3370	铁	ST-412	12.75; 25.5	--
	MR521; 522	5	OEM	固	5.25	镀	3350改	铁	ST-412	12.75; 25.5	--
	MR533; 535;	6	OEM	固	5.25	镀	3370	铁	SCSI	30.33; 50.55	--
	MR5310	7	OEM	固	5.25	镀	3370	薄	ESDI SCSI	101.1	--
NEMBURY	320; 340	5; 6	OEM	固	3.5	镀	3370	铁	ST-412	25.5; 50.1	--
	1065; 1105; 1140	6; 7	OEM	固	5.25	镀	3370	铁	ST-412	66.93; 105 18; 143.43	--
NIPPON ELECTRIC INDUSTRY	RD4064; 4127; 4191; 4255	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	6.4; 12.7; 19.1; 25.5	--
	RD3127; 3255	5; 6	OEM	固	5.25	涂	3370	铁	ST-412	12.7; 25.5	--

技术规范表(国外)

容量/性能												第一台交货时间	备注
每轴数据面数	每面磁头数	每面磁道数	每道容量(字节)	位密度 BPI	道密度 TPI	转速 转/分	定位机构类型	平均找道时间(ms)	平均旋转延迟(ms)	平均访问时间(ms)	传输率 KB/S		
4; 5; 6; 7; 8	1	1024	10416	9824	1000	3600	VC, R	28	8.3	36.3	625	84.2	
4; 5; 6; 7	1	1024	20832	19794	1000	3600	VC, R	28	8.3	36.3	1250	85.三	2.7RLL码
4; 6; 8	1	1024	F:19456	19794	1000	3600	VC, R	28	8.3	36.3	625	86.1	2.7RLL码
2; 4;	1	612	10416	9680	648	3550	SM, B	70/80	8.45	78.45/88.45	625	83.9/84.6	半高
4; 4	1	306/612	10416	11000/13014	648/835	3550	SM, B	70/80	8.45	78.45/88.45	625	84.四	嵌入伺服
4	1	669	10416	9850	680	3600	VC, R	40	8.3	48.3	625	84.5	军用
8	1	1031	10416	9824	1000	3600	VC, R	40	8.3	48.3	625	86.一	
2; 4	1	612	10416	10030	688	3600	SM, RP	85	8.3	93.3	625	84.一	半高
3; 5; 8	1	1024	10416	9950	1000	3600	VC, L	28	8.3	36.3	625	84.四	
4	1	615	10416	13412	804	3600	SM, RP	68	8.3	76.3	625	84.三	半高
2; 4	1	615	10416	13840	821	3536	SM, RB	70	8.48	78.48	625	86.一	半高,嵌入伺服
2; 4	1	612	10416	9201	690	3536	SM, B	85	8.48	93.48	625	84.二	半高
3; 5	1	971	10416	9358	1028	3600	VC, R	38	8.3	46.3	625	85.10	半高
5	1	971	20832	18716	1028	3600	VC, R	38	8.3	46.3	1250	86.4	半高 2.7RLL码
4; 8	1	612	10416	12673	980	3578	VC, L	40	8.38	48.38	625	85.三	
7; 11; 15	1	918	10416	9875	980	3600	VC, R	30	8.3	38.3	625	84.四	获Maxtor许可
2; 4; 6; 8	1	306	10416	8500	400	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	83.7	
2; 4	1	612	10416	9000	706	3545	SM, B	85	8.46	93.46	625	85.一	半高

制造厂商	产品型号	容量	市场	盘片			驱动器			总容量(MB)	
		挡次	类型	类型	直径(英寸)	介质	技术类型	磁头	接口	固定盘	可换
NIPPON PERIPHERAL LTD	NP03-13; 20	5	OEM	固	3.5	涂	3350改	铁	ST-412	12.7; 19.1	——
	NP02-13	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	13.33	——
	NP02-26S	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	26.6	——
	NP04-13T; 20T; 26F	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	13.33; 20; 26.66	——
	NP04-36; 50	6	OEM	固	5.25	镀	3350改	铁	ST-412	30.4; 50.9	——
	NP04-85	6	OEM	固	5.25	镀	3350改	铁	ST-412	86.3	——
NIPPON SYSTEM-HOUSE	SQ306RD	1	OEM	盒	3.9	镀	3350改	铁	ST-412	——	6.38
	SQ325F; 338F	5; 6	OEM	固	3.9	镀	3350改	铁	ST-412	25.5; 38.2	——
OLIVETTI PERIPHERAL EQUIPMENT	HD512/3	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	Olivetti	21.7	——
	HD563/11; 12; 13	5	OEM自配	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	6.38; 12.76; 19.14	——
	HD661/11; 12	5	OEM自配	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	6.375; 12.75	——
	HD662/11; 12	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	12.75; 25.52	——
	HD670/12	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	25.52	——
OTARI ELECTRIC CO., LTD	C-214; 226	5	OEM	固	5.25	镀	3350改	铁	ST-412	12.75; 25.5	——
	C507; 514; 519; 526	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	6.38; 12.75; 19.13; 25.5	——
PHERIPHE-RAL TECHNOLOGY	PT-325; 338	5; 6	OEM	固	3.5	涂	3370	铁	ST-412	25.47; 38.2	——
PRIAM	V130; 150; 170	6	OEM	固	5.25	镀	3370	铁	ST-412	30.8; 51.4; 72.0	——

技术规范表(国外)

容量/性能												第一台交货时间	备注
每面数据面数	每面磁头数	每面磁道数	每道容量(字节)	位密度 BPI	道密度 TPI	转速 转/分	定位机构类型	平均找道时间(ms)	平均旋转延迟(ms)	平均访问时间(ms)	传输率 KB/S		
4; 6	1	306	10416	12500	450	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	85.2	
4	1	320	10416	10200	238	3600	SM, R	95	8.3	103.3	625	83.8	半高
4	1	640	10416	10200	596	3543	SM, R	95	8.5	103.5	625	85.2	半高
4; 6; 8	1	320	10416	10200	298	3600	SM, R	95	8.3	103.3	625	83.2	26F 第一台为83.5
5; 7	1	699	10416	9375	754	3600	VC, R	45	8.3	53.3	625	83.11	
11	1	754	10416	9600	831	3600	VC, R	30	8.3	38.3	625	85.4	
2	1	306	10416	12186	435	3547	SM, B	90	8.46	98.46	625	84.10	半高, 嵌入伺服, 获SYQuest许可
4; 6	1	612	10416	12223	764	3547	SM, B	90	8.46	98.46	625	85.5	
5	1	430	10080	8166	605	3600	VC, L	26	8.3	34.3	605	82	
2; 4; 6	1	306	10416	9074	345	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	83	
2; 4	1	306	10417	8952	345	3600	SM, B	85	8.3	93.3	626	84.二	半高
2; 4	1	612	10417	8592	690	3573	SM, B	85	8.39	93.39	625	85.二	半高
4	1	612	10417	8592	690	3573	SM, B	40	8.39	48.39	625	85.三	半高
2; 4	1	612	10416	10300	650	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	85.9	半高
2; 4; 6; 8	1	306	10417	8944	383	3600	SM, RB	90	8.3	98.3	626	83.1	获Disctron许可
4; 6	1	612	10404	12000	983	3573	DCM, L	40	8.4	48.4	625	86	嵌入伺服
3; 5; 7	1	987	10416	9897	960	3600	VC, R	30	8.3	38.3	625	83.四	

制造厂商	产品型号	容量	市场	盘片			驱动器			总容量(MB)	
		挡次	类型	类型	直径(英寸)	介质	技术类型	磁头	接口	固定盘	可换
PRIAM	V185	6	OEM	固	5.25	镀	3370	铁	ST-412	85.0	——
	V514; 519	7	OEM	固	5.25	镀/溅	3370	铁	ST-412	140.2; 191.2	——
QUANTUM	Q520. 530; 540	5; 6	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	21.33 31.99; 42.66	——
	Q250; 280	6	OEM	固	5.25	溅	3370	铁	SCSI	53.4; 80.1	——
RICOH	RH5130	2	OEM	盒	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	12.75	——
RODIME	201; 202; 203; 204	5	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	6.67; 13.33; 20.0; 26.67	——
	201E; 202E; 203E; 304E	5; 6	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	13.33 26.67; 40.0; 53.34	——
	251; 252	5	OEM	固	3.5	涂	3350 改	铁	ST-412	6.38; 12.75	——
SEAGATE TECHNOLOGY	ST4026	5	OEM	固	5.25	涂	3370	铁	ST-412	25.62	——
	ST4038	6	OEM	固	5.25	涂	3370	铁	ST-412	38.17	——
	ST4051	6	OEM	固	5.25	涂	3370	铁	ST-412	50.88	——
	ST225	5	OEM	固	5.25	涂	3370	铁	ST-412	25.62	——
SIEMENS	1100; 1200; 1300	7; 8	OEM	固	5.25	镀	3370	薄	ANSI ESDI	102.8; 205.6; 308.4	——
SORD	HD-503	5	OEM 自配	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	10.0	——
	HD-513	5	OEM 自配	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	27.5	——
SYQUEST TECHNO-LOGY	SQ306RD	1	OEM	盒	3.9	镀	3350 改	铁	ST-412	——	6.38
	SQ312RD	2	OEM	盒	3.9	镀	3350 改	铁	ST-412	——	12.75

盘机技术规范表(国外)

容量/性能												第一台交货时间	备注
每轴数据面数	每面磁头数	每面磁道数	每道容量(字节)	位密度 BPI	道密度 TPI	转速 转/分	定位机构类型	平均找道时间(ms)	平均旋转延迟(ms)	平均访问时间(ms)	传输率 KB/S		
7	1	1166	10416	10979	1600	3600	VC, R	30	8.3	38.3	625	84.三	
11; 15	1	1224	10416	10924	1070	3600	VC, L	20	8.3	28.3	625	86.一	
4; 6; 8	1	512	10416	9200	591	3529	TM, R	45	8.5	53.5	625	83.4	
4; 6	1	815	16384	20000	876	3600	TM, R	30	8.3	38.3	625	85.12	半高 1, 7RLL码 嵌入伺服
2	1	612	10416	10894	612	3473	SM, RP	98	8.6	106.6	625	85.三	半高, 嵌入伺服
2; 4; 6; 8	1	320	10416	8720	350	3600	SM, RB	90	8.3	98.3	625	82 6	
2; 4; 6; 8	1	640	10416	10300	600	3600	SM, RB	55	8.3	63.3	625	84.4	
2; 4	1	306	10416	11200	600	3600	SM, RB	85	8.3	93.3	625	83.9	
4	1	615	10416	9617	625	3600	VC, L	40	8.3	48.3	625	84.11	
5	1	733	10416	9617	750	3600	VC, L	40	8.3	48.3	625	85.1	
5	1	977	10416	9720	960	3600	VC, L	40	8.3	48.3	625	85.1	
4	1	615	10416	9827	588	3600	SM, RB	65	8.3	73.3	625	84.10	半高
4; 8; 12	1	1224	21000	19077	1207	3571	VC, R	25	8.4	33.4	1250	85.四	
6	1	160	10416	7690	254	3600	SM, B	76	8.3	84.3	625	83.2	
6	1	440	10416	8853	508	3600	SM, B	127	8.3	135.3	625	84.5	
2	1	306	10416	12186	435	3547	SM, B	90	8.46	98.46	625	82.9	
2	1	612	10416	12400	740	3547	SM, B	90	8.46	98.40	625	84.7	

制造厂商	产品型号	容量	市场	盘片			驱动器			总容量(MB)	
		挡次	类型	类型	直径(英寸)	介质	技术类型	磁头	接口	固定盘	可换
	SQ325F; 338F	5; 6	OEM	固	3.9	镀	3350改	铁	ST-412	25.5; 38.2	——
TANDON	TM362	5	OEM	固	3.5	镀	3370	铁	ST-412	25.62	——
	TM252	5	OEM	固	5.25	镀	3350改	铁	ST-412	12.75	——
	TM502; 503	5	OEM	固	5.25	镀	3350改	铁	ST-412	12.75; 19.14	——
	TM703	6	OEM	固	5.25	镀	3350改	铁	ST-412	36.1	——
TANDON	TM755	6	OEM	固	5.25	镀	3350改	铁	ST-412	51.04	——
TEAC	SD-412	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	12.76	——
	SD-506	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	6.38	——
	SD-510	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	12.76	——
	SD-520	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	25.52	——
TOKICO	DK502-1; 2; 3	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	13.3; 20.0; 26.6	——
	DK503-1; 2	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	6.66; 13.33	——
	DK505-2	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	25.5	——
TOKYO ELECTRIC	TD5512; 5526	5	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	12.75, 25.5	——
TOSHIBA 东芝	MK-50F	5	自配	固	5 25	涂	3350改	铁	ST-412 SASI	12.75	——
	MK-53FAB; 54; 56	6	OEM	固	5.25	涂	3350改	铁	ST-412	43.2; 60.5; 86.5	——
TULIN	TL226; 240	5; 6	OEM	固	5.25	镀	3350改	铁	ST-412	26.7; 40.0	——

盘机技术规范表(国外)

容量/性能												第一台交货时间	备注
每轴数据面数	每面磁头数	每面磁道数	每道容量(字节)	位密度 BPI	道密度 TPI	转速 转/分	定位机构类型	平均找道时间(ms)	平均旋转延迟(ms)	平均访问时间(ms)	传输率 KB/S		
4; 6	1	612	10416	12223	764	3547	SM, B	90	8.46	98.46	625	84.6	半级,嵌入伺服
4	1	615	10416	13739	804	3558	SM, RP	80	8.4	88.4	625	85.4	半高
4	1	306	10416	9074	345	3600	SM, RB	100	8.3	108.3	625	83.7	半高
4; 6	1	306	10416	9074	345	3600	SM, RB	206	8.3	214.3	625	82.9	
5	1	578	10416	10000	700	3600	VC, R	39	8.3	47.3	625	83.1	
5	1	981	10416	9528	960	3600	VC, L	35	8.3	43.3	625	85.4	半高
4	1	306	10417	9074	345	3600	SM, B	170	8.3	178.3	625	82.三	获Seagate许可
4	1	153	10417	7690	255	3600	SM, B	170	8.3	178.3	625	82.三	
4	1	306	10416	9074	345	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	84.4	半高
4	1	612	10416	9074	690	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	85.5	
4; 6; 8	1	320	10416	9260	360	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	83.10	
2; 4	1	320	10416	9260	360	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	83.10	半高
4	1	612	10416	9490	670	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	85.3	半高
2; 4	1	612	10416	10568	550	3573	SM, B	65	8.4	73.4	625	85.三	半高
4	1	306	10416	9074	345	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	83.三	2.09英寸高
5; 7; 10	1	830	10416	9383	900	3600	VC, R	25	8.3	33.3	625	85.3	
4; 6	1	640	10416	10000	656	3600	SM, RB	85	8.3	93.3	625	84.3	半高嵌入伺服

制造厂商	产品型号	容量	市场	盘片			驱动器			总容量（MB）	
		档次	类型	类型	直径（英寸）	介质	技术类型	磁头	接口	固定盘	可换
VICTO R COMPANY OFJAPAN	JD-3806M	5	OEM	固	3 5	镀	3350 改	铁	ST-412 改	6.33	——
	JD-3812M	5	OEM	固	3 5	镀	3350 改	铁	ST-412 改	12.65	——
WESTERN	WD-505	1	OEM	盒	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	——	F:6.38
XEBEC	4000 OW1	5	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	SASI	F:10.65	——
LAPINE	3525Titan	5	OEM	固	3.5	溅	3350 改	铁	ST-412	25.5	——
MATSUSHITA COMMVNICA-TION INDUSTRIAL	JU-104	5	OEM	固	3.5	溅	3350 改	铁	ST-412	13.3	——
	JU-662; 664	5	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	6.7; 13.3	——
NEC	D3116; 3126	5	OEM	固	3.5	镀	3350 改	铁	ST-412	12.8; 25.62	——
	D5224; 5244	5	自配 OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	12.91; 25.83	——
	D5124	5	自配 OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	12.91	——
	D5126	5	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	25.62	——
	D5146	5	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	51.24	——
NEWBURY	505	1	OEM	盒	5.25	涂	3350 改	铁	SA1000 改	6 4	6.4
NIPPON ELECTRIC INDUSTRY	RD-4510	6	OEM	固	5.25	涂	3350 改	铁	ST-412	51.0	——
SEAGATE	ST212	5	OEM	固	5.25	涂	3370	铁	ST-412	12.76	——
DATA GENERAL	6301; 6338	6		固	5.25	涂			ST-506	38; 71	——
	6339	7		固	5.25	涂			ST-506	120	——

盘机技术规范表(国外)

容量/性能												第一台交货时间	备注
每轴数据面数	每面磁头数	每面磁道数	每道容量(字节)	位密度 BPI	道密度 TPI	转速 转/分	定位机构类型	平均找道时间(ms)	平均旋转延迟(ms)	平均访问时间(ms)	传输率 KB/S		
2	1	306	10416	11439	566	2322	SM, B	130	12.9	142.9	400	85.7	1.14英寸高嵌入伺服
2	1	612	10416	12808	849	2322	SM, B	130	12.9	142.9	400	85.9	
2	1	306	10416	9022	345	3600	SM, B	45	8.3	53.3	625	84.三	
4	1	306	F:8704	8842	367	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	84.四	半高
4	1	612	10416	11700	900	3600	SM, RB	68	8.3	76.3	625	85.8	
4	1	320	10416	12100	506	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	85.9	
2; 4	1	320	10416	9280	320	3600	SM, B	95	8.3	103.3	625	84.三	半高
2; 4	1	615	10416	15000	750	3564	SM, B	85	8.4	93.4	625	85.7	
2; 4	1	310	10416	9000	350	3600	SM, R	85	8.3	93.3	625	83.4	
4	1	310	10416	9000	350	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	84.3	
4	1	615	10416	9000	700	3564	SM, B	85	8.4	93.4	625	84.10	半高
8	1	615	10416	9000	700	3564	SM, B	85	8.4	93.4	625	85.6	
4	1	320	10032	8738	454	3443	VC, L	40	8.7	48.7	625	83.三	嵌入伺服
8	1	612	10416	9000	750	3600	SM, B	85	8.3	93.3	625	85.四	
2	1	612	10416	10568	550	3600	SM, B	65	8.3	73.3	625	84.四	半高
7; 8	1							35; 32					
15	1							30					

制造厂商	产品型号	容量	市场	盘片			驱动器			总容量（MB）	
		挡次	类型	类型	直径（英寸）	介质	技术类型	磁头	接口	固定盘	可换
IDEASSOCIATES	DA-40-FI	6		固	5.25	涂			ST-506 SASI	40	——
IMI	5006H	5		固	5.25	镀			ST-506	6.38	——
	5012H	5		固	5.25	镀			ST-506	12.75	——
	5018H	5		固	5.25	镀			ST-506	19.13	——
AST	AST-96202	7		固	5.25	镀			ESDI	103.0	——
	AST-96203	6		固	5.25	镀			ESDI	61.8	——
Maxtor	XT-8380E	8		固	5.25	镀		铁	ESDI SCSI	408	——
	XT-8760E	9		固	5.25	镀		铁	ESDI SCSI	765	——
SUMITRO-NICS	NP-04	6		固	5.25	涂			ST-506	55.87	——
	RD-3000	5		固	5.25	涂			ST-506	10.20	——
	RD-4000	5		固	5.25	涂			ST-505	10.20	——
IOMEGA	Beta-5	5		盒	5.25	涂			ST-506	5.23	8.23
PLUS DEVELOPMENT	Hardcard	5		固	3.5	涂			ST-506	10	——
TECMAR	ATHD	5		固	5.25	涂				23	——
	XTHD	5		固	5.25	涂				10	——
	QuicK60W20	5		固	5.25	涂				21	——

盘机技术规范表(国外)

容量/性能												第一台交货时间	备注
每轴数据面数	每面磁头数	每面磁道数	每道容量(字节)	位密度 BPI	道密度 TPI	转速 转/分	定位机构类型	平均找道时间(ms)	平均旋转延迟(ms)	平均访问时间(ms)	传输率 KB/S		
8	1						SM,	55					
2	1						SM,	68					
4	1						SM,	68					
6	1						SM,	68					
5	1			19405	960	3600	VC, L	30			1250		
2	1			19405	960	3600	VC, L	30			1250		半高
8	1	1632	31250	31429	1376	3600	VC, R	<16			1875	87.二	
15	1	1632	31250	31429	1376	3600	VC, R	18			1875	87.二	
10	1						VC,	30					
4	1						SM, L	85					半高
8	1						SM, L	85					
							SM	39					
2						3600	VC, R	65					
4	1							85					
4	1							85					
4	1							85					

二、软盘机

小型和微型软盘机技术规范表

制造厂商	产品型号	磁盘尺寸(英寸)	容量(MB)	平均存取时间(ms)	数据传输率(KB/S)	位密度BPI	道密度TFI	注
Y.E.Data	YD-180	5.25	1.6	91	500		48	双.半
	YD-380	5.25	1.6	91	500		96	双.半
	YD-480	5.25	1.0	95	250		96	双.半
	YD-580	5.25	0.5	148	250		48	双.半
	YD-380	5.25	1.025	91	500		96	双.半
	YD-380-1714	5.25	0.655/1.025	91/95	250/500		96	双 半
	YD-620	5.25		95	250		67.5	半
	YD-640	5.25	1.0	96	250		135	
	YD-801	5.25	3.2			19740	96	
	YD-801	5.25	1.6			9870	96	
	YD-801	5.25	1.0			5922	96	双
CANON	MDD211	5.25	0.5	100	250		48	双
	MDD221	5.25	1.0	100	250		96	双
	MDD413	5.25	1.0	100	250		48	双
	MDD423	5.25	2.0	100	250		96	双
	MDD530	5.25	1.0	100	250		96	双
	MDD531	5.25	0.5	100	250		48	双
ALPS	DFC122	5.25	0.25		250		48	半
	DFC222	5.25	0.5		250		48	半
	DFC422	5.25	1.0		250		96	半
	DFC642	5.25	1.6		250		96	
	DFC682	5.25	1.0/1.6		250		96	
ADPI	RS232C	5.25	0.5/1.0	158	19.2			双
	RS232C	5.25	0.36	158	19.2			双

续表

制造厂商	产品型号	磁盘尺寸(英寸)	容量(MB)	平均存取时间(ms)	数据传输率(KB/S)	位密度 BPI	道密度 TPI	备注
Panasonic Indas trial Corp	JU-455	5.25	0.5	93	250		48	双、半
	JU-475	5.25	1.6	91	250/500		96	双、半
Personal Micro Computers Inc.	FDD-420	5.25	0.4	93	250		48	双
	FDD-421	5.25	0.4	93	250		48	双
	FDD-422	5.25	0.4	93	250		48	双
Teac Corp	FD-55AV/BV	5.25	0.16/0.32	93	250		48	单/双、半
	FD-55EV	5.25	0.32	94	250		96	单、半
	FD-55FV	5.25	0.6	94	250		96	双、半
	FD-55GFV	5.25	0.6/1.2	91/94	500		96	双、半
	FD-55GV	5.25	1.2	91	250		96	双、半
Weltec Diqital Inc.	M16	5.25	1.6	88	500		96	双
	M48	5.25	0.25/0 5	75	125/250		48	单/双、半
	M96	5.25	0.5/1.0	88	125/250		96	单/双、半
东芝	ND-04	5.25	0.5			5876	48	
	ND-06	5.25	1.0			5922	96	
	ND-08	5.25	1.6/1.0			9646/5922	96	
NEC	FD1053	5.25	0.5	94	250	2961	96	半
	FD1055	5.25	1.0	95	250	5922	96	半
	FD1155	5.25	1.6			9646	96	半
	FD1155B	5.25	1.6/1.0			9646/5922	96	半
	FD1155C	5.25	1.6/1 0			9870/5922	96	半
Okidata Corp	3350HV	5.25	0 5	68	250		48	双、半
	3315BV	5.25	0.5	68	250		48	双、半

续表

制造厂商	产品型号	磁盘尺寸(英寸)	容量(MB)	平均存取时间(ms)	数据传输率(KB/S)	位密度 BPI	道密度 TPI	备注
Mitsubishi electronics	M4851	5.25	0.5	103	250		48	双、半
	M4853	5.25	1.0	94	250		96	双、半
	M4854	5.25	1.0/1.6	94	250/500		96	双、半
	M4855	5.25	2.0	94	500		96	双、半
EPSON	SD-58DD	5.25	1.0/1.6	93	250/500		96	双、半
	SD-521	5.25	0.5	97	250		48	双、半
	SD-540	5.25	1.0	96	250		96	双、半
	SD-583	5.25	1.0/1.6	93	300/500		96	双、半
Miltope Corp	BDS-5	5.25	1.0					
	DD-400	5.25	3.2				77	
Data General Corp	6383	5.25	0.763	93	250		96	双、半
NEC	FD1034	3.5	0.5			8187	135	半
	FD1034	3.5	0.25			4049	135	半
	FD1035	3.5	1.0	95	250	8717	135	半
	FD1035	3.5	0.5			4359	135	半
	FD-35A	3.5	0.25					半
	FD-35B	3.5	0.25					半
	FD-35E	3.5	0.5					半
	A300-FD3	3.5	0.72					
TEAC	FD-35A	3.5	0.16	93	250		67.5	单/双
	FD-35B	3.5	0.32	93	250		67.5	单/双
	FD-35E	3.5	0.32	94	250		135	单/双
	FD-35F	3.5	0.6	94	250		135	单/双
	FD-135A	3.5	0.16	93	250		67.5	

续表

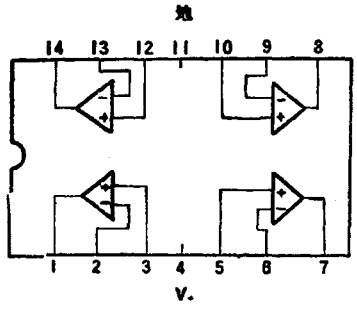
制造厂商	产品型号	磁盘尺寸(英寸)	容量(MB)	平均存取时间(ms)	数据传输率(KB/S)	位密度 BPI	道密度 TPI	备注
	FD-135B	3.5	0.16	93	250		67.5	
	FD-135E	3.5	0.32	94	250		135	
	FD-135F	3.5	0.6	94	250		135	
东芝	ND-351	3.5	0.5			8187	135	
	ND-352	3.5	1.0			8717	135	
Y.E.Data	YD-701	3.5	2.0			17434	135	
	YD-701	3.5	1.6			14184	135	
	YD-701	3.5	1.0			8717	135	
	YD-620/625	3.5		96	250		67	双
	YD-640/645	3.5		95	250		35	双
ALPS Electronic	DFL313	3.5	0 5		250		135	单、半
	DFL413	3.5	1.0		250		135	双、半
Citizen America Corp	CMDT00A/10A	3.5	0.5/1.0	331	125/250		135	单/双
	CMDT40A/50A	3.5	0.5/1.0	173	125/250		135	单/双
EPSON	SMD-150	3.5	0.25	97	250		68.5	单、半
	SMD-160	3.5	0.5	67	250		67.5	双、半
	SMD-170	3.5	0.5	96	250		135	单、半
	SMD-180	3.5	1.0	96	250		135	双、半
	SMD-280H	3.5	1.0	100	250		135	双
	SMD-280L	3.5	1.0	100	250		135	双
FUJITSU	M220A	3.5		88	625		450	双
	M223A	3.5		88	625		450	双
	M224A	3.5		88	625		450	双
Mitsobishi	MF351/353	3.5	0.5/1.0	94	250		135	单/双、半

续表

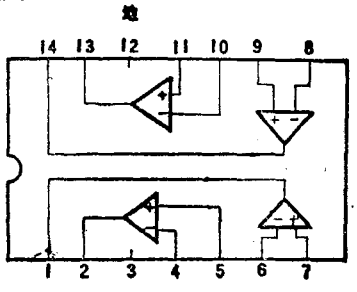
制造厂商	产品型号	盘片尺寸(英寸)	容量(MB)	平均存取时间(ms)	数据传输率(KB/S)	位密度BPI	道密度TPI	备注
Mitsubishi	MF353A	3.5	1.0	173	250		135	双、半
	MF354	3.5	1.6	91	250		135	双、半
	MF355	3.5	2.0	94	250		135	双、半
SANKYO	FDU-300	3.5	0.25/0.5					单/双、半
	FDU-355	3.5	0.5/1.0					单/双、半
富士通	MB27691	3.5	0.32					

附录二　小型磁盘机常用集成电路

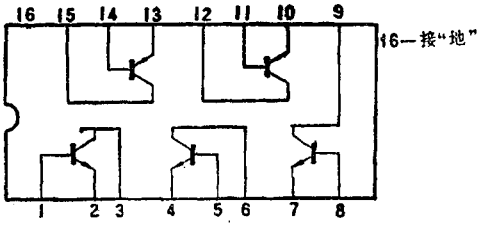
LM3[illegible]



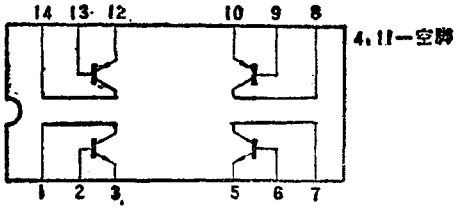
LM339



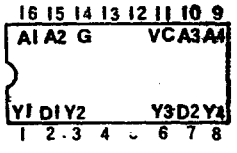
CA3096

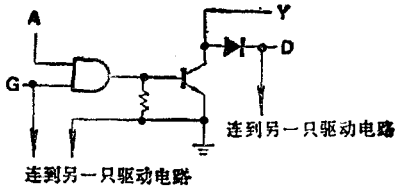


MPQ6002

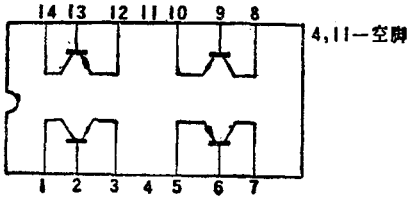


SN75437/DS3658

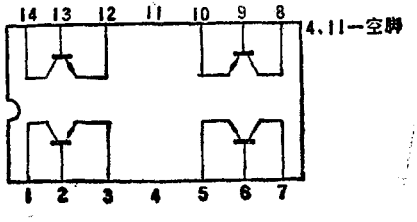




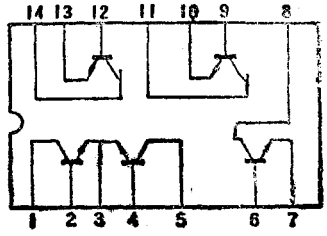
TPQ2907, TPQ3467, MPQ3762



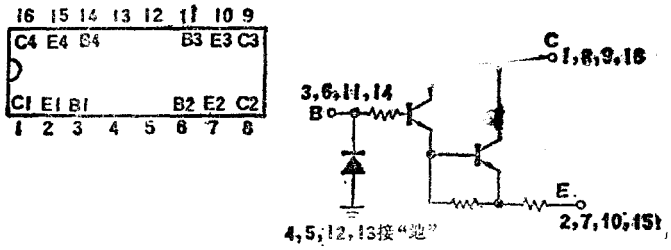
TPQ3725, TPQ3904, MPQ2222



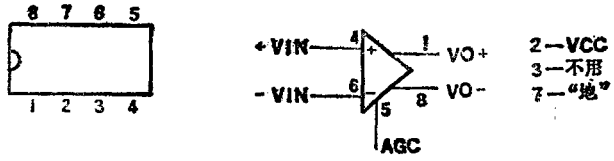
LM3046, L306, L3346



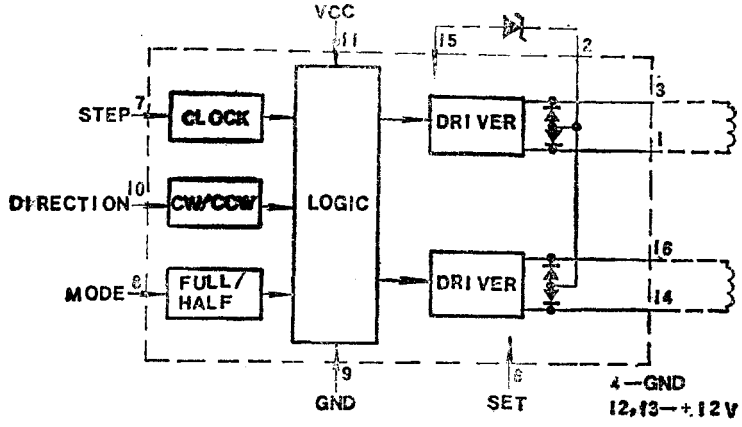
ULN204, S204



MC1350



SAA1042, 10SA42A



附录三　硬盘控制器WBIOS的分析

PC-DOS和CP/M86 是IBM PC/XT上运行的两个最基本的操作系统。作为操作系统的基本输入输出驱动程序BIOS均可用于这两个操作系统，并且均以中断方式供这两个操作系统调用。

关于5.25英寸硬盘机的BIOS全部内容被固化在两片EPROM内。一片在IBM PC/XT的大底板上，它的驻留地址为FE00～FFFF；另一片在硬盘控制器板上。为区别两者，称大底板上的BIOS为ROMBIOS；称硬盘控制器板上的BIOS为WBIOS。

WBIOS的驻留地址从C8000开始，以容量20KB为一块模块。模块的第1和第2单元的内容为55AA，第三单元的内容为程序长度标志，故程序从C8003开始。

WBIOS有以下两个功能：

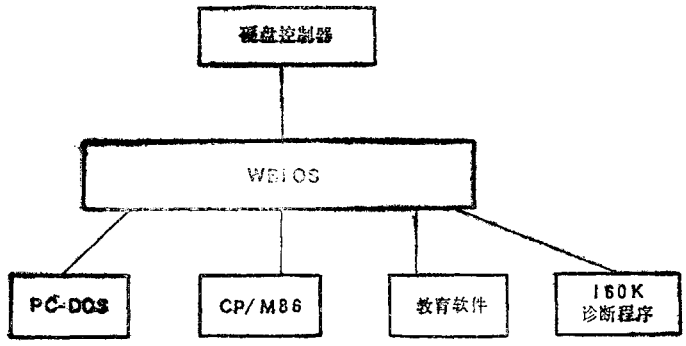
(1) 启动IBM PC/XT期间，完成对硬盘子系统启动和对有关的中断矢量的预置。

(2)执行WBIOS中的INT13中断服务程序，实现对温盘子系统的各种操作。

一、有关寄存器的用途

1. IBM PC/XT 的CPU有关寄存器的用途

由图附3-1WBIOS功能框图可知：WBIOS是一个位于PC-DOS与温盘控制器之间的介面，操作系统通过IBM-PC/XT的CPU(以下简称主机)经WBIOS实现对硬盘控制器的各种操纵。在操纵硬盘控制器期间，主机需使用有关寄存器，向硬盘控制器发送各种类型的命令和操作并随时接收控制器向操作系统报告当前硬盘控制器的工作状态。



图附3-1　WBIOS功能框图

(1)在发出中断INT-13前，根据需要，按以下规定，预置主机的A、B、C、D等寄存器。

①(AH*)——命令类型

(AH)=00　　复位控制器(在(DL)=80/81时)

* 注：H表示16位寄存器的高8位；L表示16位寄存器的低8位。

(AH)=01　将磁盘机最后一个操作状态读入“AL”寄存器
(AH)=02　读扇区，即读取要访问的扇区并送入主机内存
(AH)=03　写扇区，即从主机内存写入要访问的扇区
(AH)=04　校验扇区，即校验要访问的扇区
(AH)=05　格式化磁道。即格式化要访问的磁道。
(AH)=06　格式化磁道并设坏扇区标志
(AH)=07　格式化磁盘机。即从指定的磁道开始格式化磁盘机。
(AH)=08　读取当前磁盘机规格参数。
(AH)=09　预置磁盘机规格参数。
(AH)=0A　读长度
(AH)=0B　写长度
(AH)=0C　寻找
(AH)=0E　读扇区缓冲区
(AH)=0F　写扇区缓冲区
(AH)=10　测试磁盘机“准备好(或就绪)状态”。
(AH)=11　重校准(即再定标)。
(AH)=12　扇区缓冲诊断。即控制器扇区缓冲区诊断。
(AH)=13　磁盘机诊断。
(AH)=14　控制器诊断。

②(DL)——磁盘机号(80～87)

③(DH)——磁头号(允许有0～7，无校验值)

④(CH)——圆柱号(允许有0～1023，无校验值)

⑤(CL)——起始扇区号(允许有1～17，无校验值)。

“CL”寄存器的高二位存放圆柱号的高二位，故圆柱号共有十位二进制数。

⑥(AL)——扇区数(最大允许范围为1-80，对读写长度为1～79)

⑦(ES：BX)——读/写缓冲区的地址(不需校验)

(2)主机需要了解的温盘控制器工作状态，由WBIOS按以下规定转换后，向主机A寄存器发送。

①(AH)——当前工作状态。

(AH)=FF　读出操作失败。
(AH)=BB　发生非定义的错误。
(AH)=80　操作超时。
(AH)=40　找道失败。
(AH)=20　控制器失败。
(AH)=11　ECC数据校正错误。
(AH)=10　磁盘机读数中有坏的ECC。
(AH)=0B　检测到坏的磁道标志。
(AH)=09　试图DMA超过64KB的界限。
(AH)=07　磁盘机规格参数范围失败。

(AH)=05　复位失败。

(AH)=04　找不到指定扇区。

(AH)=02　找不到地址标志。

(AH)=01　错误命令传送到磁盘机I/O。

②CY=0时　操作成功(在(AH)=0时)

CY=1时　操作失败(AH寄存器内含有错误原因)。

CY是主机的进位位标志。

PC-DOS 按第1条的规定发送命令给 WBIOS，WBIOS 按第2条规定将控制器当前状态向PC-DOS报告。下面以“诊断控制器扇区缓冲区”命令为例说明之。

```
MOV CX, 0001        (预置起始扇区号，低8位圆柱号)
MOV DX, 0080        (预置磁头号、逻辑磁盘机号)
MOV AX, 1200        (预置“控制器扇区缓冲区诊断”命令)
INT 13
JB ERR              (报告操作状态。失败，转ERR；正确，则执行下一条指
                     令)
  ⋮
  ⋮
```

2. 硬盘控制器有关寄存器的用途

在对硬盘控制器实施各种操纵期间，需使用地址为320、321、322、323这四个控制器的 I/O寄存器。对这四个寄存器的读操作和写操作的用途是不同的。表附 3-1 是这四个寄存器的用途。

表附3-1

寄存器地址		读操作	写操作
320	命令阶段		存放命令字节
	数据阶段	数据输入寄存器	数据输出寄存器
	结束阶段	存放完成状态字节	
321		状态寄存器	复位控制器
322		读硬盘机规格参数	选中硬盘机
323		备　用	允许DMA传送 允许硬盘机中断

1. 地址320寄存器实际上是硬盘控制器内容量为1K的缓冲存储器（RAM)。在命令执行过程的不同阶段有不同的用途。

完成状态字节中是刚完成命令的状态信息，各位含义如下：

位0、2、3、4、6、7不用

位1　ERR

位5　LUN：硬盘机逻辑设备号

ERR为“1”时，指出在命令执行期间有错误产生，WBIOS还需再发一个错误检

测命令(03命令)，获取表明错误类型的错误代码。

ERR为“0”时，表示命令执行正确

2. 控制器状态寄存器

该寄存器I/O地址为321。其各位含义如表16-2所示

表附3-2

位	7	6	5	4	3	2	1	0
名称	不用	不用	INTR	DREQ	SEL	COM/DATA	IN/OUT	READY

INTR为“1”时，表示控制器正在申请中断。

DREQ为“1”时，指出控制器正按DMA方式，传送数据。为“0”时，指出以程序I/O方式传送数据。

COM/DATA为“0”表示通过地址为320的数据输入输出寄存器的信息为数据；为“1”时，则表示通过数据输入输出寄存器的信息为命令字节或完成状态字节。

IN/OUT为“0”时，表示从主机输出数据；为“1”时，则表示数据输入主机。

READY为“1”时，表示控制器已准备好，可以接收数据或命令，或者可以与主机交换数据。

SEL为“1”时，表示控制器已被选中。

当“READY”为“1”，根据COM/DATA和IN/OUT的不同组合确定地址为320的寄存器的操作性质。

IN/OUT	COM/DATA	地址320寄存器的操作内容
0	0	主机输出数据
0	1	主机发送命令字节
1	0	向主机发送数据
1	1	向主机发送完成状态字节

3. 复位控制器

当向地址321寄存器写入任意数，即产生一个“复位控制器”信号，完成控制器内部状态的初始化和自测试。

4. 选中控制器

向地址322寄存器写入任意数，表示控制器被选中并进行命令输入状态的初始化。

5. 硬盘机规格参数寄存器

控制器板有一组设置磁盘器规格参数(例如存储容量、磁道数等)的开关。当读取地址为322寄存器，即可取得与磁盘机规格参数有关的开关状态的信息。

6. 控制寄存器

该寄存器为只写寄存器，地址为323。第2至第7位不用。第0位为DMAE；第1位为INTE。

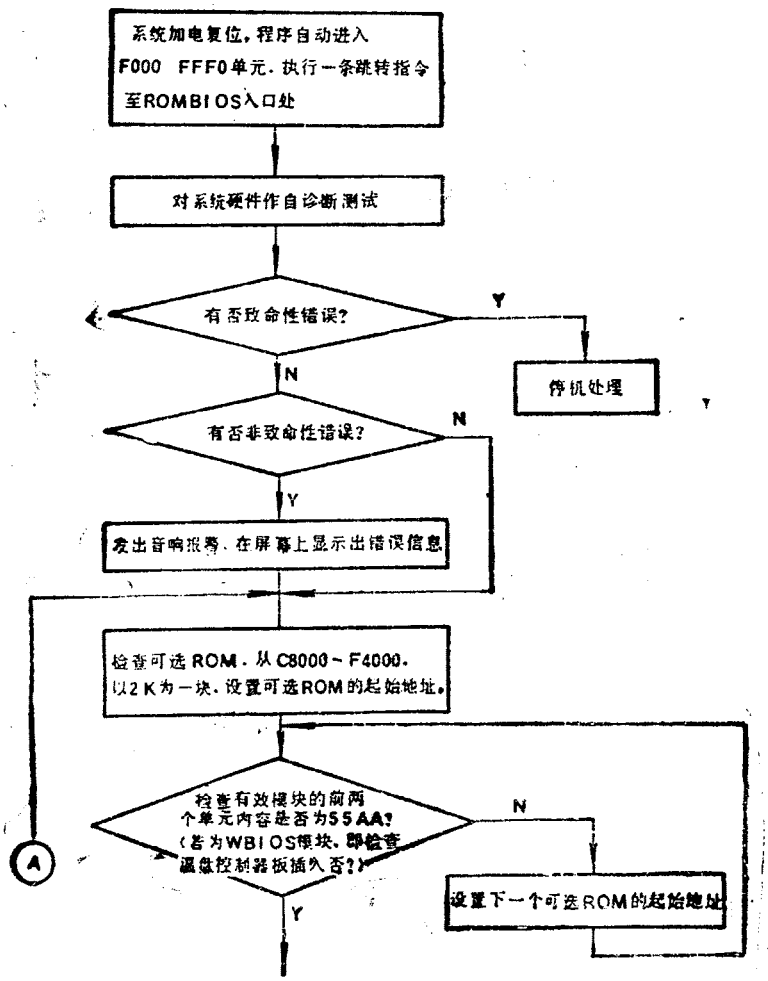
INTE为“1”表示允许硬盘机硬中断。

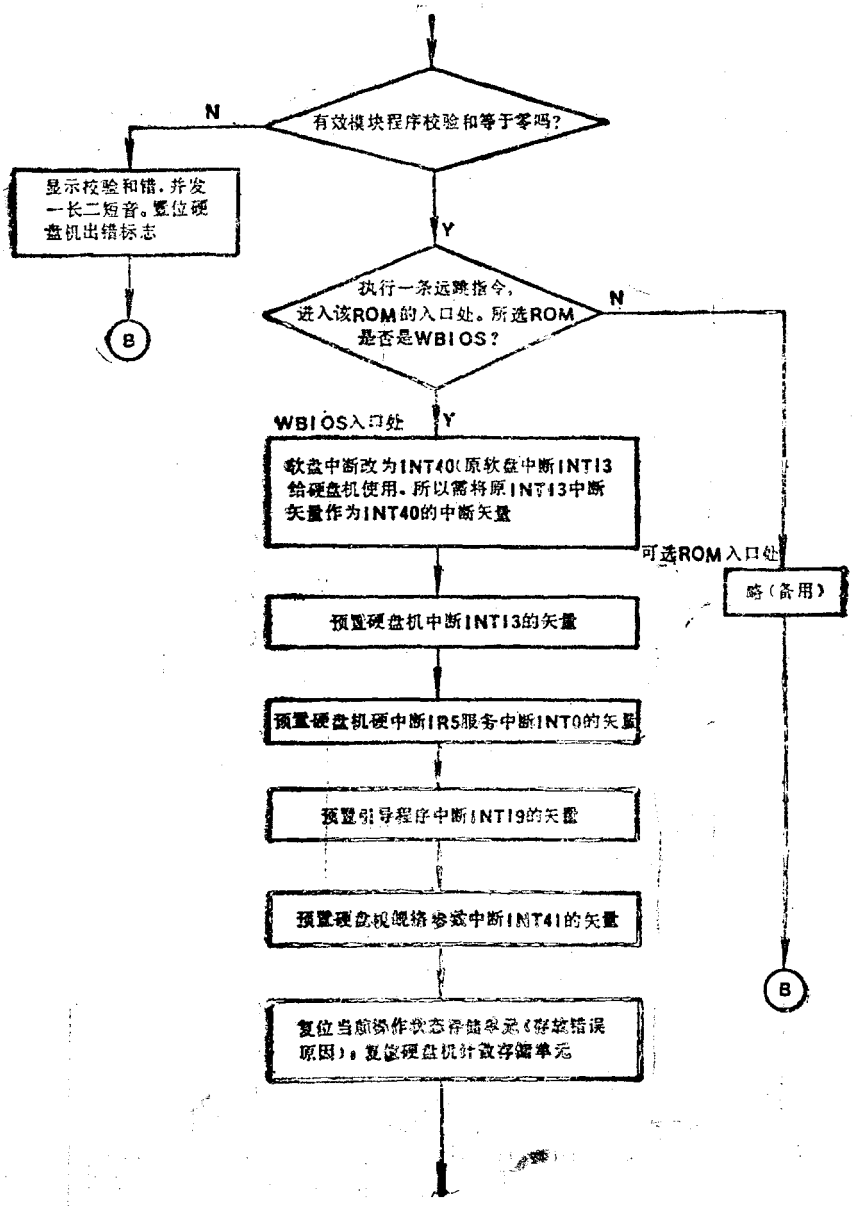
DMAE为“1”表示允许DMA传送。

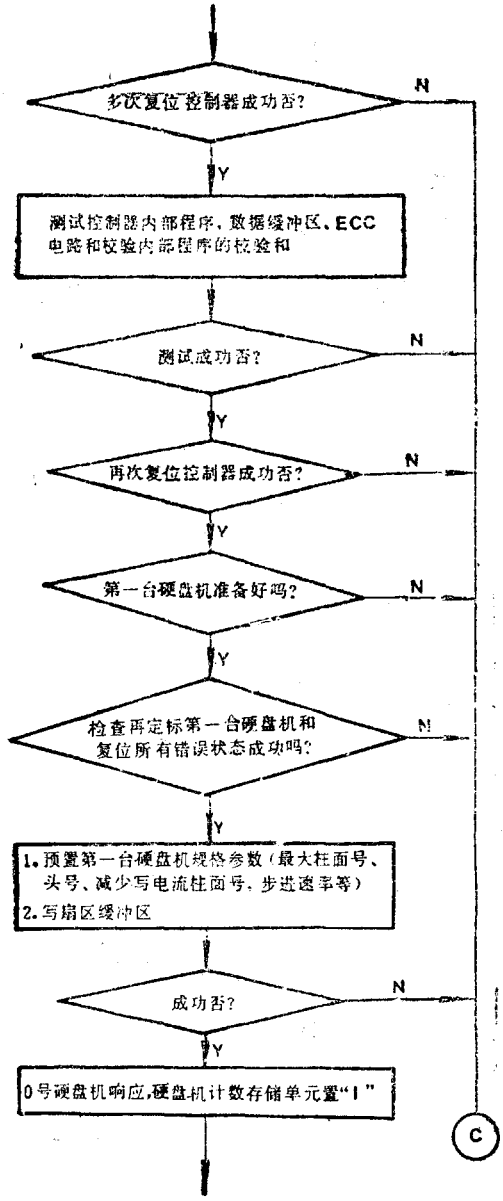
二、硬盘子系统的启动

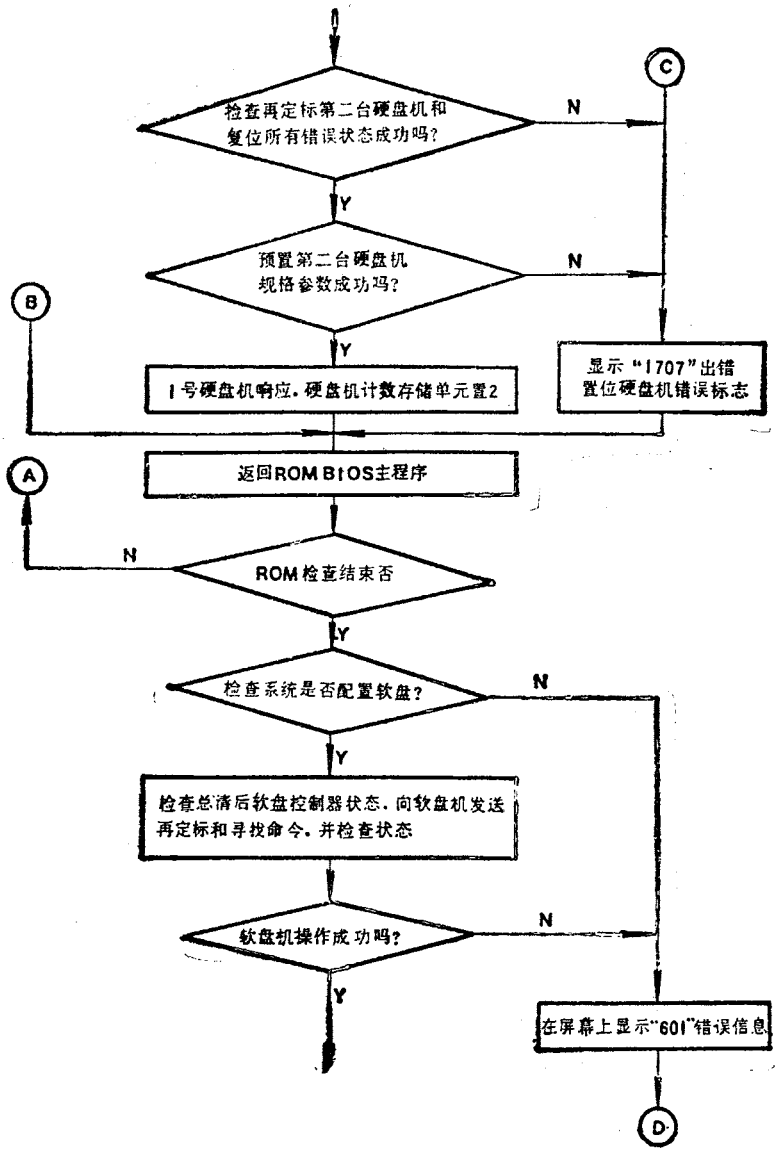
WBIOS的第一个职能是：在启动IBM PC/XT期间，完成对硬盘子系统的启动和对有关的中断矢量的预置。

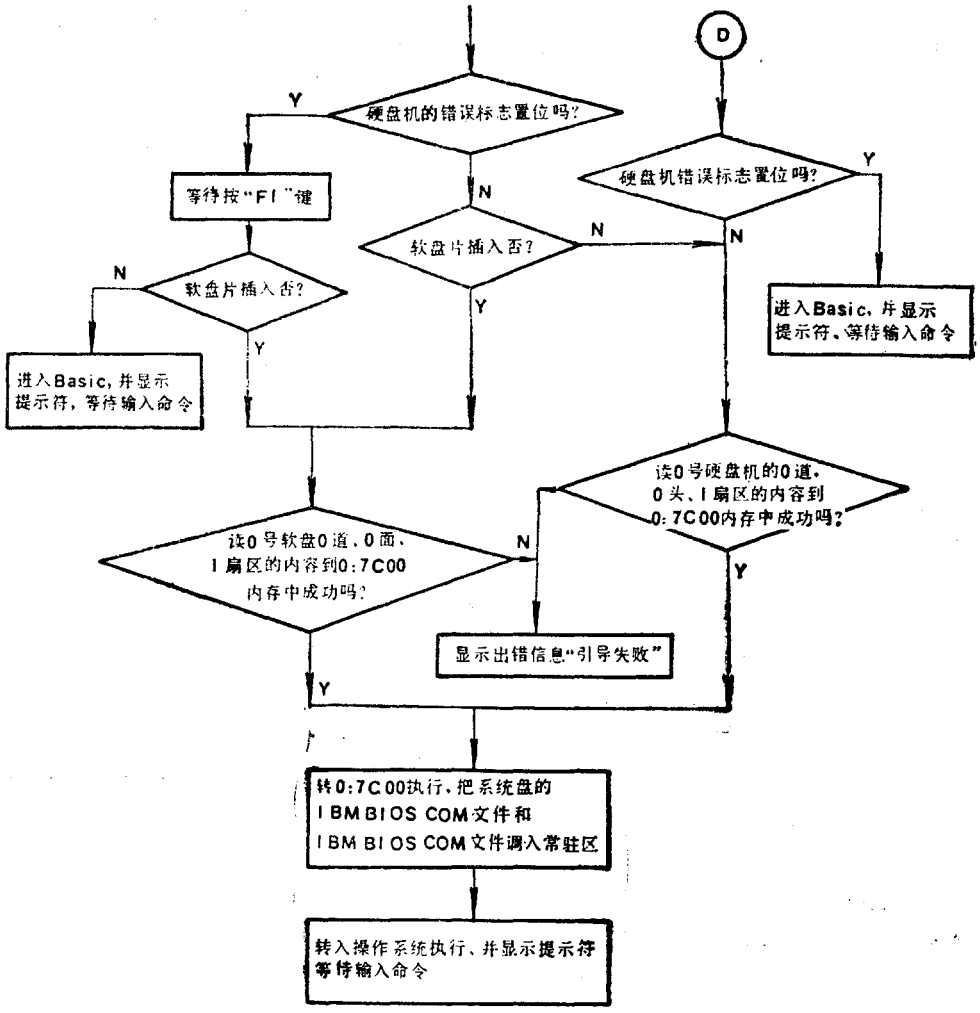
图16-2是ROMBIOS与WBIOS在启动IBM PC/XT到读入DOS引导块期间程序流程图。为重点描述WBIOS，图中，对ROMBIOS的流程框的划分比较粗。




有效模块程序校验和等于零吗?
N
显示校验和错，并发一长二短音。置位硬盘机出错标志
B
Y
执行一条远跳指令，进入该ROM的入口处。所选ROM是否是WBIOS?
N
WBIOS入口处
Y
软盘中断改为INT40(原软盘中断INT13给硬盘机使用。所以需将原INT13中断矢量作为INT40的中断矢量
预置硬盘机中断INT13的矢量
预置硬盘机硬中断IR5服务中断INT0的矢量
预置引导程序中断INT19的矢量
预置硬盘机网络参数中断INT41的矢量
复位当前操作状态存储单元(存放错误原因)，复位硬盘机计数存储单元
可选ROM入口处
略(备用)
B


多次复位控制器成功否?
N
Y
测试控制器内部程序，数据缓冲区、ECC电路和校验内部程序的校验和
测试成功否?
N
Y
再次复位控制器成功否?
N
Y
第一台硬盘机准备好吗?
N
Y
检查再定标第一台硬盘机和复位所有错误状态成功吗?
N
Y
1.预置第一台硬盘机规格参数（最大柱面号、头号、减少写电流柱面号，步进速率等）
2.写扇区缓冲区
成功否?
N
Y
0号硬盘机响应，硬盘机计数存储单元置"1"
C


检查再定标第二台硬盘机和
复位所有错误状态成功吗?
N
C
Y
预置第二台硬盘机
规格参数成功吗?
N
B
Y
1号硬盘机响应,硬盘机计数存储单元置2
显示"1707"出错
置位硬盘机错误标志
返回ROM BIOS主程序
A
N
ROM检查结束否
Y
检查系统是否配置软盘?
N
Y
检查总清后软盘控制器状态,向软盘机发送
再定标和寻找命令,并检查状态
软盘机操作成功吗?
N
Y
在屏幕上显示"601"错误信息
D



图附3-2　启动期间 BIOS 程序流程图

由图附3-2可知：WBIOS在启动期间完成以下两项工作：

(1)预置INT40、INT13、INT19、INTD、INT41等中断矢量。

(2)对硬盘控制器、硬盘机进行各种测试。若测试成功即进入ROMBIOS的Boot-Strap(INT19)，读取驻留在磁盘机的“00”道“0”磁头1扇区的引导块，并存入内存(0：7C00)单元中，然后执行引导块的程序。若测试失败，显示“1701”，指出有错，等待按“F1”键，改从软盘机引导。

三、命令的执行

操作系统通过WBIOS对硬盘控制器的操纵可分四个阶段：即进入INT13中断服务程序前的准备阶段；传送命令阶段(简称命令阶段)；读写数据(包括其它作为数据传送的检测字节的传送)阶段(简称数据阶段)；结束检查阶段。

1。准备阶段

在进入INT-13程序中断前，对主机有关寄存器，设置“命令”类型(按一、1.的要求设置)。进入INT13后，判断和转换命令。

2. 命令阶段

一旦进入INT13 程序中断经对命令的判断并转换后，按以下过程，取出主机已准备好的命令，经WBIOS转换成如表附3-3所示的命令格式的相应命令。

表附3-3

字节	7	6	5	4	3	2	1	0
0	命令类型			操作码				
1	0	0	台号	头号				
2	高位圆柱地址		扇区号					
3	低位圆柱地址							
4	块计数或交替值							
5	R1	R2	0	0	0	SP	SP	SP

表中R_1：磁盘错重试；置“1”时不重试。

R_2：数据错重读；置“1”时不重读。

SP：步进脉冲速率码。

经WBIOS转换后的命令类型和操作的代码与准备阶段主机准备好并存在AH寄存器的代码有所不同。例如“读扇区”和“写扇区”两个命令的代码，转换前为02和03；转换后为08和0A。转换后的命令代码见表附3-4。

命令阶段的过程如下

(1)向地址为321寄存器写入任意数，完成复位控制器，控制器自检和初始化。

(2)向地址为322寄存器写入任意数，选中控制器，完成命令输入状态初始化。

(3)向地址为323寄存器写入03，即允许磁盘机硬中断和DMA传送。

(4)读取地址为321的控制器状态寄存器，取得控制器当前的状态。如果 SEL = 1，COM/DATA = 1，IN/OUT = 0，READY = 1，则主机可向控制器发送六字节的命令。

(5)向地址为320的寄存器写六字节的命令。

(6)检查命令传送是否正确。传送六字节命令后，再读“控制器状态寄存器”。若READY = 0，表示命令传送正确。

控制器命令有：数据传送、非数据传送和状态命令，拷贝命令(有的控制器没有拷贝命令)，诊断命令这三类。找道、格式化等命令为非数据传送类命令。只有数据传送命令才会从命令阶段转入数据阶段。但有的非数据传送命令例如03检测命令，也需转入数据阶段，传送四字节长的错误类型和错误地址。

3. 数据阶段

在数据阶段，控制器状态寄存器中READY必为“1”，COM/DATA为“0”，IN/OUT为“1”或“0”。由DREQ确定按DMA方式(DREQ为“1”时)传送或按程序 I/O 方式(DREQ为“0”时)传送。

4. 结束阶段

命令执行完，WBIOS 要检查控制器状态寄存器中的 INTR 位。如果在规定时间内

表附3-4

命　令	分类及操作码	台　号	头　号	圆柱号	扇区号	块计数或交替值	R1	R2	SP
测试磁盘机“准备好”	00	V	d	d	d	d	d	d	d
再定标	01	V	d	d	d	d	V	d	d
错误检测*	03	V	d	d	d	d	d	d	d
格式化磁盘机	04	V	V	V	DR	V(交替值)	V	d	V
校验扇区	05	V	V	V	V	V(块计数)	V	V	V
格式化磁道	06	V	V	V	DR	V(交替值)	V	d	V
格式化磁道并设坏	12	V	V	V	DR	V(交替值)	V	d	V
扇区标志									
读扇区	08	V	V	V	V	V(块计数)	V	V	V
写扇区	0A	V	V	V	V	V(块计数)	V	d	V
寻找	0B	V	V	V	DR	d	V	d	V
预置磁盘机规格	0C	V	d	d	d	d	d	d	d
参数									
读ECC突发错长度*	0D	V	d	d	d	d	d	d	d
读扇区缓冲区	0E	d	d	d	d	d	d	d	d
写扇区缓冲区	0F	d	d	d	d	d	d	d	d
扇区缓冲诊断	E0	d	d	d	d	d	d	d	d
磁盘机诊断	E3	V	d	d	d	d	V	d	V
控制器诊断	E4	d	d	d	d	d	d	d	d
读长度	E5	V	V	V	V	V(块计数)	V	d	V
写长度	E6	V	V	V	V	V(块计数)	V	d	V

V：表示为合法参数；d：表示不用；DR：不必考虑参数是否在合法范围内。

注：标*者指不是从主机AH寄存器发送过来而经WBIOS转换的命令，而是根据需要由 WBIOS 发出的命令。另外，主机AH寄存器中有(AH)=00，01，08三个命令不需要WBIOS转换而直接作为命令送往控制器执行。

INTR=1，则从地址为320的寄存器读取“完成状态字节”，送往“状态 存储单元”。如果允许中断，控制器还向 主机 发出IR5中断 请求。如果在规 定时内INTR≠1，即超时，则向状态存储单元发送错误代码80。然后向地 址为323的寄 存 器 写入数 据00，使INTE和DMAE位均被置“0”，导致主机总线IR5和DREQ呈高阻态。

读取完成状态字节后，置“控制器状态寄存器中的SEL为“0”，准备再次被选中。

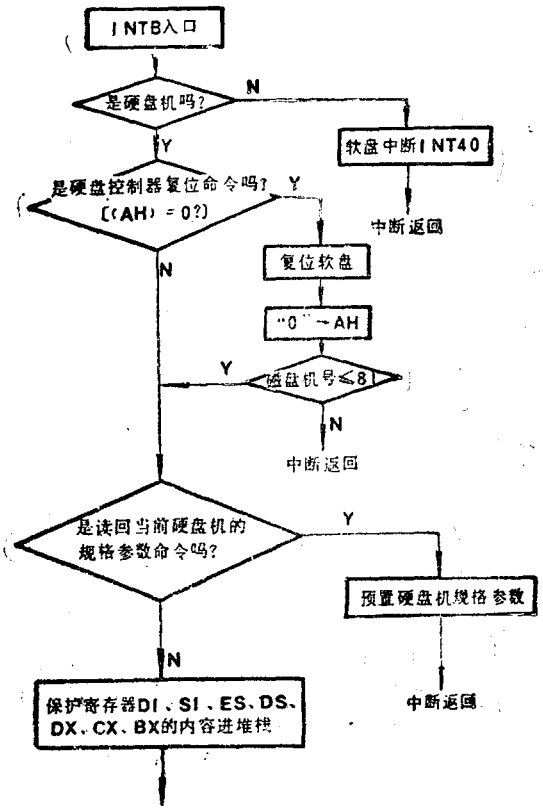
如果有错误发生，需发送错误检测命令(03命令)，取得表明错误类型和错误地址的错误代码。03命令的执行过程亦分命令、数据、结束三个阶段。

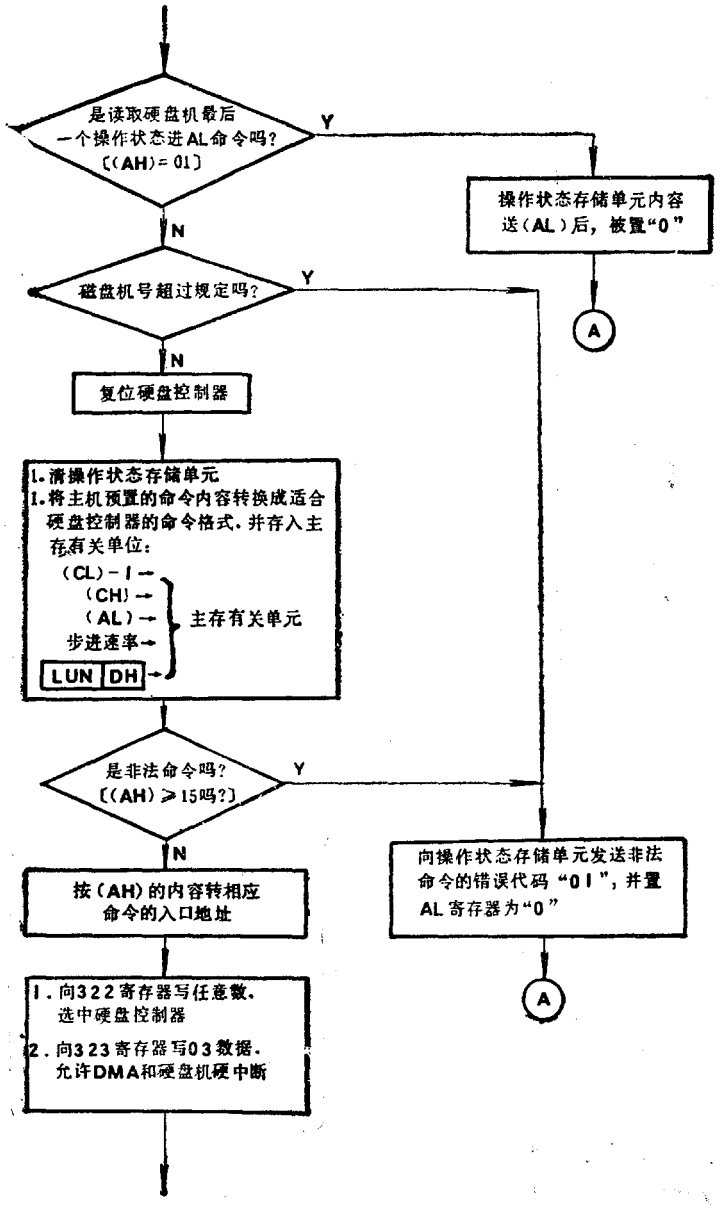
四、命令执行举例

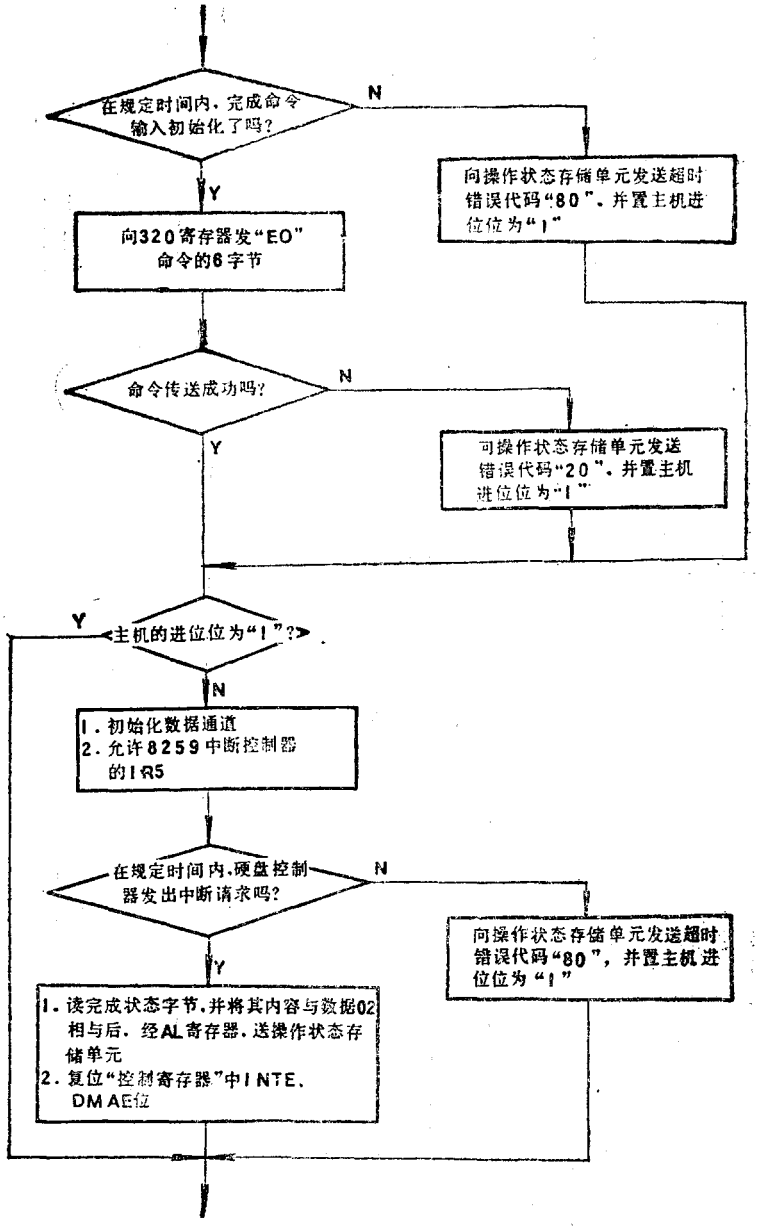
INT13是WBIOS的核心，它把以中断方式发出的命令转换成适合控制器工作的各种命令；它控制命令执行的全过程，并将错误代码转换成主机能接收的错 误 代 码，向PC-DOS报告等等。

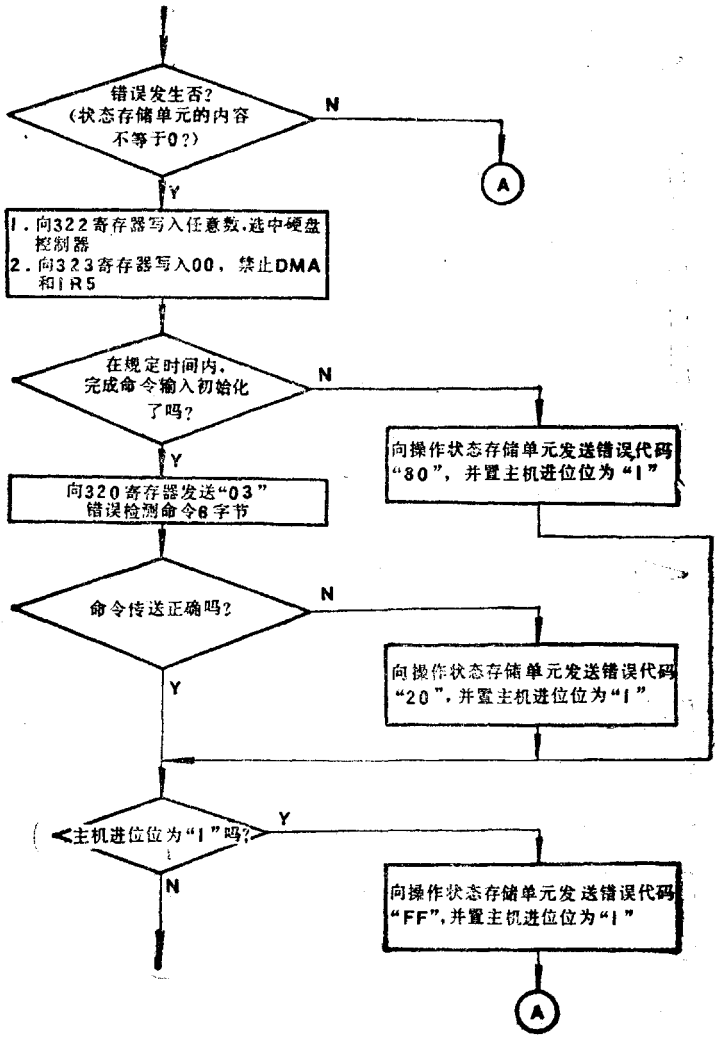
下面以“诊断控制器扇区缓冲区”命令为例，描述命令执行的全过程。

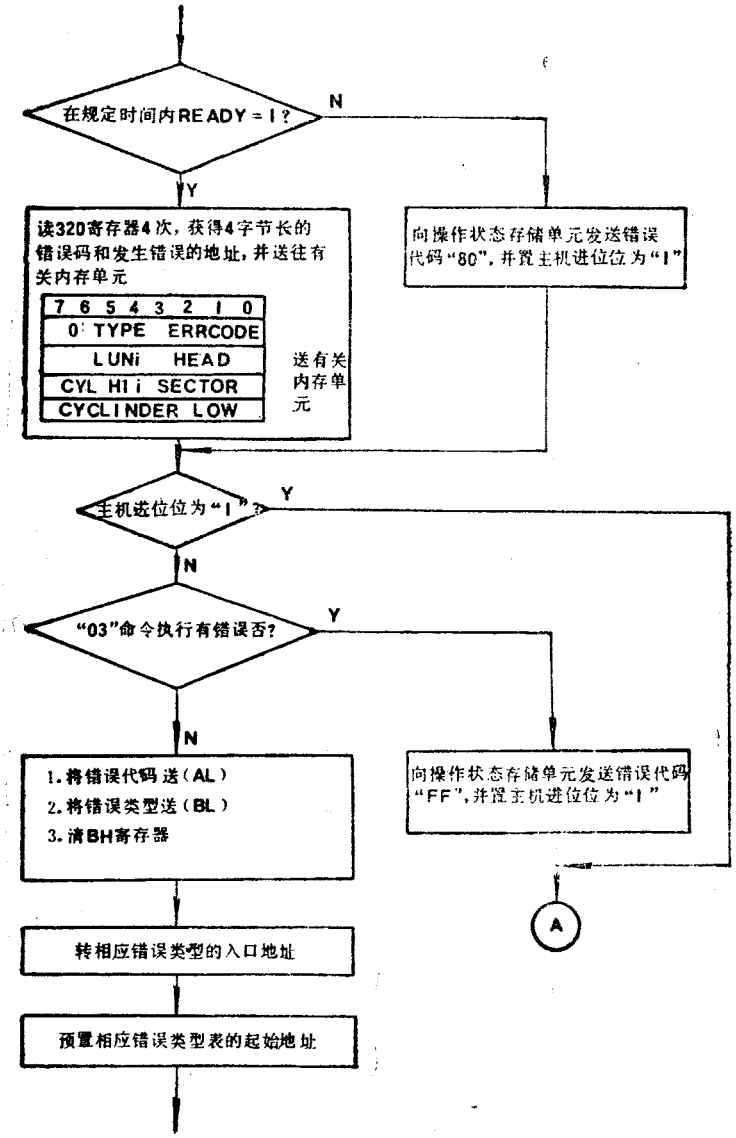
MOV CX, 0001	预置起始扇区号和低8位圆柱号
MOV DX, 0080	预置磁头号和逻辑磁盘机号
MOV AX, 1200	预置“诊断控制器扇区缓冲区”命令
INT13	进入WBIOS中INT13中断服务程序，其流程见图附3-3
JB ERR	判操作结果状态。若失败，转ERR；若正确，则执行下一条指令

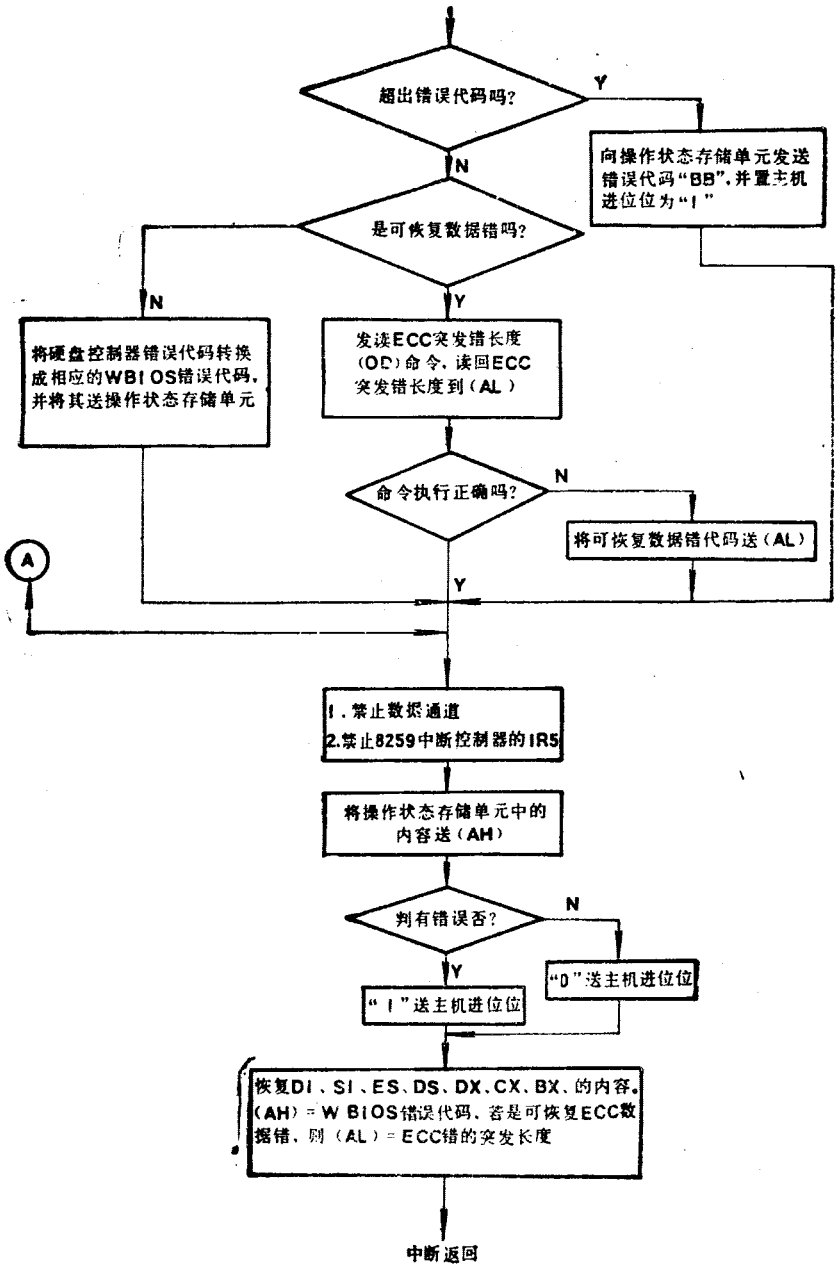



是读取硬盘机最后一个操作状态进AL命令吗?
〔(AH)=01〕
Y
操作状态存储单元内容送(AL)后，被置"0"
A
N
磁盘机号超过规定吗?
Y
A
N
复位硬盘控制器
1.清操作状态存储单元
1.将主机预置的命令内容转换成适合硬盘控制器的命令格式，并存入主存有关单元：
(CL)→
(CH)→
(AL)→
步进速率→
LUN DH →
主存有关单元
是非法命令吗?
〔(AH)≥15吗?〕
Y
N
向操作状态存储单元发送非法命令的错误代码"01"，并置AL寄存器为"0"
A
按(AH)的内容转相应命令的入口地址
1.向322寄存器写任意数，选中硬盘控制器
2.向323寄存器写03数据，允许DMA和硬盘机硬中断


在规定时间内，完成命令输入初始化了吗？
N
Y
向操作状态存储单元发送超时错误代码"80"，并置主机进位位为"1"
向320寄存器发"EO"命令的6字节
命令传送成功吗？
N
Y
向操作状态存储单元发送错误代码"20"，并置主机进位位为"1"
主机的进位位为"1"？
Y
N
1．初始化数据通道
2．允许8259中断控制器的IR5
在规定时间内，硬盘控制器发出中断请求吗？
N
Y
向操作状态存储单元发送超时错误代码"80"，并置主机进位位为"1"
1．读完成状态字节，并将其内容与数据02相与后，经AL寄存器，送操作状态存储单元
2．复位"控制寄存器"中INTE、DMAE位


错误发生否?
(状态存储单元的内容
不等于0?)
N
Y
A
1. 向322寄存器写入任意数,选中硬盘控制器
2. 向323寄存器写入00, 禁止DMA和IR5
在规定时间内,
完成命令输入初始化
了吗?
N
向操作状态存储单元发送错误代码"80", 并置主机进位位为"1"
Y
向320寄存器发送"03"
错误检测命令6字节
命令传送正确吗?
N
向操作状态存储单元发送错误代码"20", 并置主机进位位为"1"
Y
主机进位位为"1"吗?
Y
向操作状态存储单元发送错误代码"FF", 并置主机进位位为"1"
N
A


在规定时间内READY = 1?
N
Y
读320寄存器4次，获得4字节长的错误码和发生错误的地址，并送往有关内存单元
7 6 5 4 3 2 1 0
0 TYPE ERRCODE
LUNi HEAD
CYL HIi SECTOR
CYCLINDER LOW
送有关内存单元
向操作状态存储单元发送错误代码"80"，并置主机进位位为"1"
主机进位位为"1"?
Y
N
"03"命令执行有错误否?
Y
N
1. 将错误代码送(AL)
2. 将错误类型送(BL)
3. 清BH寄存器
向操作状态存储单元发送错误代码"FF"，并置主机进位位为"1"
A
转相应错误类型的入口地址
预置相应错误类型表的起始地址



图附3-3 INT13 中断服务程序流程图

果粉藏書

封面设计：张凤鹏

微型计算机电路分析与维修丛书

1 IBM PC（XT 及 AT）系统分析
2 CC BIOS 剖析
3 5.25 英寸磁盘机
4 针式打印机
5 显示器及显示终端
6 自动绘图仪和数字化仪
7 电源
8 电路图集（第一册）

ISBN7-5053-0494-1/TP·65　　定　价：6.80元